

PROJET VALOMATBIO - ÉTUDE DES SCÉNARIOS DE FIN DE VIE DES ISOLANTS BIOSOURCES

Rapport 1 - Modalités de gestion des isolants
biosourcés en fin de vie en vue des scénarios de
réemploi et de valorisation

RAPPORT FINAL

Déc 2022

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)
Yves Hustache, Karibati - (Association Syndicale des industriels de l'Isolation Végétale)
Elodie Rivière, (SEDDRE – Syndicat des Entreprises de Déconstruction, Dépollution et Recyclage)
Alberto Dos Santos, (SEDDRE – Syndicat des Entreprises de Déconstruction, Dépollution et Recyclage)
Sonia Brasier-Pontet, Entreprise Nantet – Activité de tri et traitement des déchets
Guillaume Pillet, Entreprise Nantet – Activité de tri et traitement des déchets
Patrice Poncet, Entreprise Nantet – Activité de Déconstruction
Elsa Descombes, CAPEB Auvergne-Rhône-Alpes
Damien Suisse Guillaud, AMO/MOE Bâtiment Durable – Inddigo
Hélène Christ, AMO/MOE Bâtiment Durable – Inddigo
Sylvain Laurenceau, CSTB, Responsable de division - DIVISION ECONOMIE CIRCULAIRE
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)

CITATION DE CE RAPPORT

Philippe LEONARDON, ADEME. Nathalie Tornay (ENSA Toulouse _ Co-directrice du LRA)
Catherine Aventin (architecte dplg - chercheuse au LRA), Delphine ROLLET, INDDIGO ; 2022. **Etude des scénarios de fin de vie des isolants biosourcés**. 102 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, Esteara, LRA de l'ENSA de Toulouse et la 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

RESUME.....	6
ABSTRACT.....	7
1. DEPOSE SELECTIVE.....	8
1.1. Contexte de la dépose sélective.....	8
1.2. Techniques de dépose sélective pour l'isolation biosourcé.....	9
1.3. Bilan et principaux résultats obtenus.....	11
2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DES DECHETS DU BATIMENT.....	13
2.1. Quelques définitions en préambule.....	13
2.2. Cadre réglementaire européen.....	14
2.3. Principales mesures nationales réglementaires impactant les déchets.....	15
2.4. Principales mesures impactant les déchets du bâtiment.....	16
2.5. Zoom sur le nouveau diagnostic produits, matériaux et déchets et opportunités.....	17
2.6. Le principe de responsabilité élargie des producteurs (REP).....	17
2.7. Impact des évolutions réglementaires sur l'étude des scénarios en fin de vie.....	20
3. OPPORTUNITES D'UNE FILIERE DE REEMPLOI.....	21
3.1. Benchmark et retours d'expériences.....	21
3.2. Impacts des modes et techniques de construction.....	22
3.3. Synthèse des opportunités et freins vis-à-vis du réemploi des isolants biosourcés en fin de vie.....	23
3.4. Organisation à mettre en œuvre pour le réemploi.....	23
4. SCHEMA CLASSIQUE DES ETAPES D'ACHEMINEMENT DES ISOLANTS EN FIN DE VIE VERS LA VALORISATION.....	28
5. ETUDE DES SCENARIOS EN FIN DE VIE DE L'ISOLANT PAILLE.....	29
5.1. Méthodologie.....	29
5.2. Contexte du développement de la botte de paille.....	29
5.3. Réalisation des entretiens.....	32
5.4. Bilan et principaux résultats.....	35
5.5. Conclusions.....	42
6. ETUDE DES SCENARIOS EN FIN DE VIE DE L'ISOLANT A BASE DE CHANVRE.....	43
6.1. Méthodologie.....	43
6.2. Contexte de la filière isolant en chanvre.....	43
6.3. Réalisation des entretiens.....	45
6.4. Bilan / Principaux résultats obtenus.....	46
6.5. Conclusions.....	55
7. ETUDE DES SCENARIOS EN FIN DE VIE DE L'ISOLANT A BASE DE OUATE DE CELLULOSE	56
7.1. Méthodologie.....	56
7.2. Contexte de la filière ouate de cellulose.....	56
7.3. La FDES et les scénarios envisagés.....	58
7.4. Premières conclusions.....	59

7.5.	Valorisation des isolants à base de ouate de cellulose	59
7.6.	Bilan et principaux résultats obtenus.....	63
7.7.	Conclusions.....	69
8.	ETUDE DES SCENARIOS EN FIN DE VIE DE L'ISOLANT A BASE DE TEXTILES RECYCLES. 71	
8.1.	Méthodologie	71
8.2.	Contexte de la filière isolant à partir de textiles recyclés	71
8.3.	Réalisation des entretiens	73
8.4.	Bilan / Principaux résultats obtenus	75
8.5.	Conclusions.....	81
9.	ETUDE DES SCENARIOS EN FIN DE VIE DE L'ISOLANT A BASE DE FIBRES DE BOIS 82	
9.1.	Méthodologie	82
9.2.	Contexte de la filière isolant fibre de bois.....	82
9.3.	Réalisation des entretiens	84
9.4.	Bilan / Principaux résultats obtenus	85
9.5.	Conclusions.....	89
10.	ZOOM SUR LE PROCÉDE NAODEN DE PYROGAZÉIFICATION 91	
10.1.	Préambule	91
10.2.	Cahier des charges des intrants.....	91
10.3.	La solution Naoden, une perspective intéressante pour les isolants biosourcés	92
11.	BILAN ET RECOMMANDATIONS 93	
11.1.	Bilan sur la dépose sélective	93
11.2.	Bilan pour le développement des scénarios alternatifs à l'enfouissement.....	93
11.3.	Recommandations en vue de privilégier le réemploi des isolants en fin de vie.....	93
11.4.	Recommandations pour les scénarios pour la paille en fin de vie	94
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95
	INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	97

RESUME

En 2014, l'ADEME a publié un rapport intitulé « Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France ». L'objectif était d'identifier et évaluer les gisements actuels de matériaux biosourcés en « fin de vie », c'est-à-dire à la fin de leur durée d'usage tout en apportant une vision prospective sur l'évolution de ces gisements (horizon 2030). Le bâtiment fait partie des secteurs d'applications ciblés par cette précédente étude. En parallèle, l'ADEME a cherché à identifier la compatibilité de ces gisements avec les filières actuelles de valorisation et évaluer la pertinence de développer des filières spécifiques. En 2016, une autre étude intitulée « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction » montre que le réemploi des matériaux dans le secteur du bâtiment est une pratique peu courante et indique que les efforts à fournir pour développer le réemploi devront être conséquents.

Ainsi, le projet VALO-MAT-BIO a étudié des scénarios en fin de vie des isolants biosourcés en s'appuyant sur un travail de collaboration à partir d'entretiens auprès de différents acteurs du secteur du bâtiment (fabricants d'isolants, entreprises du bâtiment, centre technique, maître d'œuvre), de la bibliographie existante et d'experts du groupement.

Le projet ne pouvait pas ignorer le contexte actuel vis-à-vis de la gestion des déchets du bâtiment. Une évolution réglementaire forte qui pourrait permettre de soutenir les scénarios alternatifs à l'enfouissement envisagés dans le cadre du projet grâce à la responsabilité élargie du producteur. Ces scénarios nécessiteront l'investissement dans de nouveaux équipements afin de développer le processus global des filières de traitement, de la collecte au traitement final.

C'est pourquoi, notre travail commencera par un chapitre sur la dépose sélective des isolants. Nous rappellerons la réglementation des déchets et les évolutions sur l'organisation des déchets en fin de vie dans le bâtiment. L'objectif est d'en faire une analyse qui aide à comprendre le contexte dans lequel nous nous trouvons et les scénarios proposés. Nous présenterons ensuite les opportunités de réemploi/réutilisation des isolants biosourcés en lien avec leur mise en œuvre. Puis, chaque famille d'isolants étudiés dans le projet sera approfondie à partir des entretiens menés et nous en ressortirons les scénarios de fin de vie envisagés.

Ce travail servira de base pour la suite des études. Les scénarios seront repris pour être modéliser l'analyse de cycle de vie et ensuite étudier l'impact à l'échelle d'un bâtiment.

ABSTRACT

In 2014, ADEME published a report entitled « Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France ». The objective was to identify and evaluate the current deposits of biosourced materials at the “end of life”, that is to say at the end of their useful life while providing a prospective vision on the evolution of these deposits (by 2030). Building is one of the areas of application targeted by this previous study. At the same time, ADEME sought to identify the compatibility of these deposits with the current value chains and assess the relevance of developing specific chains. In 2016, another study entitled “Identifying Barriers and Levers to the Reuse of Construction Products and Materials” It shows that the re-use of materials in the building sector is an unusual practice and indicates that the efforts to be made to develop re-use will have to be substantial.

Thus, the VALO-MAT-BIO project studied end-of-life scenarios for biosourced insulation by drawing on a collaborative work based on interviews with various actors in the building sector (insulation manufacturers, building companies, technical centre, contractor), the existing bibliography and experts from the consortium.

The project could not ignore the current context regarding the management of building waste. Strong regulatory evolution that could support alternative landfill scenarios envisioned by the project through extended producer responsibility. These scenarios will require investment in new equipment in order to develop the overall process of the processing channels, collection and final processing.

Therefore, our work will begin with a chapter on the selective removal of insulation. We will recall the regulation of waste and the evolutions on the organization of waste.

1. Dépose sélective

1.1. Contexte de la dépose sélective

La dépose sélective, appelée aussi « déconstruction », consiste en une succession d'activités de démolition/désassemblage pour permettre la séparation et le tri des éléments de construction et des matériaux de construction (comme les fenêtres, les portes, les tuiles, les briques, les plaques de plâtre, les isolations, les revêtements de sol, etc. (Commission européenne, 2016). Longtemps les solutions constructives ont été réalisées avec tenons, mortaises et maintenues par des chevilles de bois, sans clous, ce qui facilité la déconstruction et réutilisation des éléments tels que les portes, éléments de charpentes, planchers, etc. L'arrivée des techniques d'assemblage avec colles, liants, mousses expansives, etc., ont complexifié la désolidarisation des éléments et par conséquent la déconstruction avec réutilisation directe s'est atténué.

La complexité de la séparation des matériaux est dépendante d'un large spectre de facteurs comme la possibilité de réutiliser les composants du bâtiment sur site, la capacité du marché local pour vendre des matériaux recyclés et de leur compétitivité par rapport aux matières premières primaires ainsi que des aspects réglementaires (Duan et al., 2019).

L'industrie de la construction est principalement composée de petites et moyennes entreprises, opérant avec une marge bénéficiaire serrée. Par conséquent, ils font peu d'efforts pour mettre en œuvre des programmes de réutilisation et de recyclage qui ne représentent pas un profit économique immédiat. De plus, la démolition sélective nécessite du temps, de l'espace et une main-d'œuvre qualifiée supplémentaires. La dépose sélective nécessite un travail plus soigné que la démolition pour rendre le déchet ressource. Ces éléments forment des contraintes qui conduisent à favoriser la démolition traditionnelle à la démolition sélective par de nombreux propriétaires et entrepreneurs.

Pourtant, cette démarche s'inscrit dans une notion d'économie circulaire favorisant un changement de méthode de conception (favoriser des solutions constructives facilement démontables) avec une évolution de la démolition vers la déconstruction. Par conséquent, la viabilité environnementale et économique d'un projet de démolition sélective doit être évaluée avant les travaux de démolition au cas par cas, en tenant compte de la spécificité liée au bâtiment ainsi que des facteurs liés au contexte.

Grâce à un diagnostic précis des ressources issues de la déconstruction sélective, chaque composant peut être dirigé vers le procédé de fin de vie (recyclage, incinération, enfouissement) ou le nouveau cycle de vie (réutilisation sur site ou hors site, pour une utilisation comparable ou inférieure, avec ou sans réparation et modification) le plus approprié. Cela a pour effet d'ajouter aux options de fin de vie les plus conventionnelles des procédés moins énergivores (réparation, réutilisation sur place, réemploi hors site).

Aujourd'hui, de premières expériences émergent. Certaines sont des chantiers qui expérimentent la dépose sélective comme le site de la future piscine olympique à Saint-Denis, à Pontivy (Morbihan), un diagnostic initial établi grâce au BIM a permis la réutilisation à 90 % des matériaux d'un bâtiment tertiaire désaffecté, déconstruction sélective au quartier Bisséous à Castres (Tarn) ou encore le curage d'un immeuble de bureaux situé sur la prestigieuse avenue Friedland à Paris.



<https://www.lemoniteur.fr/article/deconstruction-selective-de-bureaux-parisiens.1120344>

<https://www.lemoniteur.fr/article/une-deconstruction-tres-selective.2066794>

<https://www.lemoniteur.fr/article/deconstruction-selective-sur-le-site-de-la-future-piscine-olympique-a-saint-denis.2131899>

L'article « Les principes de déconstruction » publié dans « Les Cahiers Techniques du Bâtiment » explique que le coût de la déconstruction sélective peut en réalité s'avérer plus avantageux qu'une démolition classique dès lors que le volume de déchets est important. Les frais de mise en décharge sont en effet déterminants, comme l'illustre un exemple donné par Alexandre Doyère, directeur de la société de démolition éponyme : « Dans le cas d'un immeuble en béton de trois à quatre étages, sur les 1 000 tonnes de déchets que représente l'ouvrage, 10 % sont des déchets ultimes de bois, de plâtre, d'isolation... et 90 % des déchets valorisables provenant de la structure. La réalisation d'un curage fin permet de sauver le gisement de béton lorsque celui-ci n'est pas souillé par du plâtre. Elle permet de séparer les 100 tonnes de déchets ultimes,

dont la mise en décharge coûte de l'ordre de 100 €/tonne, et les 900 tonnes de déchets valorisables, qui une fois triés seront envoyés sur des plateformes de recyclage à raison de 1 €/tonne. La déconstruction s'élève ici à 10 000 €. Si l'on ne triait pas, il faudrait payer 100 € x 1 000 tonnes, soit 10 fois plus ».

Ceci étant, « si le maître d'ouvrage ambitionne d'aller plus loin que la valorisation des déchets et tendre vers le réemploi, il devra s'entourer d'une maîtrise d'œuvre à même d'identifier les matériaux ayant une valeur intrinsèque, les parquets anciens, charpentes, éléments de façade, tuiles, etc., et être en mesure d'évaluer leurs possibilités de réutilisation, à l'état brut dans un emploi similaire, ou légèrement retraité pour un usage détourné », complète Sylvain Bordebeure

L'article explique ensuite que dans ce contexte, le nouveau Guide d'accompagnement de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre pour l'intégration des prescriptions « Déchets » dans les CCTP et les contrats cadres de chantier de réhabilitation lourde et de démolition arrive à point nommé pour fournir un accompagnement attendu. Élaboré avec le soutien de l'Ademe dans le cadre du projet Démoclès, cet ouvrage collaboratif (téléchargeable sur le site de Réylum) propose un certain nombre de clauses à intégrer dans les marchés de déconstruction en fonction des niveaux d'exigences requis. Le maître d'ouvrage optant pour une démarche a minima y trouvera les moyens de traduire les objectifs de la loi sur la réduction de l'empreinte environnementale des bâtiments, et d'effectuer un diagnostic déchets en amont du chantier. Celui qui souhaitera s'engager davantage se verra proposer la mise en place de clauses volontaires et une exigence de valorisation plus élevée, avec recyclage ou réemploi.

1.2. Techniques de dépose sélective pour l'isolation biosourcée

Dans le cadre du projet de recherche ValoMatBio, nous nous intéressons aux techniques de dépose sélective pour l'isolation biosourcée. Les travaux de recherche ont identifié différentes modalités de déconstruction selon la mise en œuvre qui se différencie souvent par voie sèche ou voie humide.

- La voie sèche correspond aux solutions constructives à caisson, remplissage pour les combles (ouate de cellulose, textile recyclé) où l'isolant est récupéré soit par aspiration, soit par extraction dans son état initial.
- La voie humide correspond aux isolants dont la couche de protection est un enduit (ossature bois, remplissage paille, isolation terre/chanvre, etc.). La phase de décaissage peut s'avérer longue et fastidieuse lors de la déconstruction. Des astuces, comme positionner un grillage sur les bottes de paille pour apposer la barbotine pourraient faciliter cette étape.

La réussite de la dépose sélective nécessite une évaluation précise des déchets, de leur quantité et état de dégradation afin de fixer des objectifs de valorisation adaptés aux filières de traitement locales. Le schéma suivant représente les quatre principales situations de dépose sélective des isolants biosourcés.

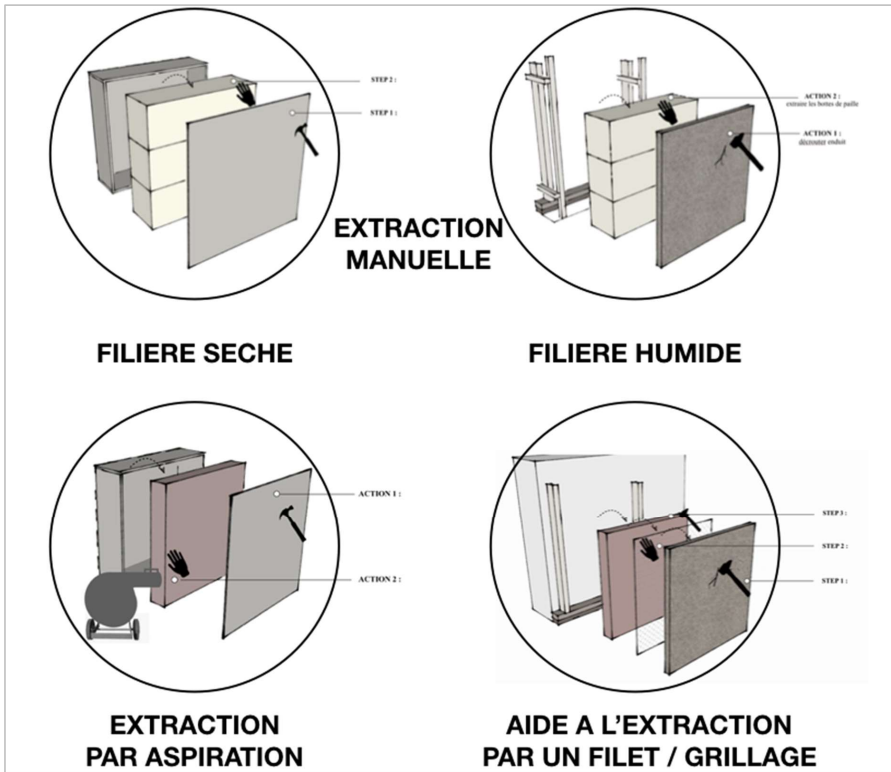


Figure 1 : Techniques d'extraction des isolants biosourcés

1.3. Bilan et principaux résultats obtenus

Le tableau ci-dessous présente quelques données quantitatives de l'ensemble des systèmes constructifs contenant une isolation biosourcée permettant de récupérer les densité ou poids des différents systèmes :

Données quantitatives*	Épaisseur		Volume	Masse volumique	Masse
Caisson paille 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.40 m	0.37 m ³	80 à 120 kg/ m ³	29,6 à 44,4 kg
Ossature bois + paille 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.40 m	0.34 m ³	80 à 120 kg/ m ³	27,2 à 40.8 kg
Greb 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.04 m	0.03 m ³		
	E3	0.40 m	0.4 m ³	80 à 120 kg/ m ³	32 à 48 kg
Paille porteuse 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.40 m	0.4 m ³	80 à 120 kg/ m ³	32 à 48 kg
Chanvre voie sèche 	E1	0.02m	0.02 m ³		
	E2	0.20 m	0.18 m ³	25 à 40 kg/ m ³	4.5 à 7.2 kg
Béton chanvre 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.20 m	0.17 m ³	250 à 700 kg/ m ³	42.5 à 119 kg
Brique de chanvre 	E1	0.02 m	0.02 m ³		
	E2	0.20 m	0.2 m ³	300 kg/ m ³	60 kg

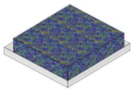

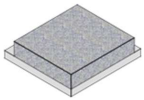
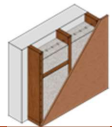

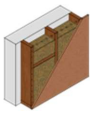
Données quantitatives*	Épaisseur		Volume	Masse volumique	Masse
Textile recyclé en vrac 	E1	0.20 m	0.2 m ³		
Textile recyclé en panneau 	E1	0,20 m	0.02 m ³		
	E2	0.02 m	0.17 m ³	25 kg/m ³	4,25 kg
Ouate de cellulose en vrac 	E1	0,20 m	0,2 m ³	55 kg/m ³	11 kg
Ouate de cellulose en panneau 	E1	0,02 m	0,02 m ³	70 kg/m ³	11,9 kg
	E2	0,20 m	0,17 m ³		
Fibre de bois en vrac 	E1	0,02 m	0,02 m ³	38 à 45 kg/m ³	6,84 à 8,1 kg
	E2	0,20 m	0,18 m ³		
Fibre de bois en panneau 	E1	0,02 m	0,02 m ³	35 à 50 kg/m ³	5,9 à 8,5 kg
	E2	0,0 m	0,17 m ³		

Tableau 1 : Tableau de données quantitatives des différents dispositifs d'isolation (volume, densité, poids)

Plusieurs paramètres vont impacter le temps de dépose sélective des isolants en fin de vie. Le peu de chantiers présentant des isolants biosourcés en fin de vie et la diversité des situations rendent complexes l'évaluation de ce temps de dépose. La présence des fluides, réseaux d'électricité, systèmes de chauffage, peut impacter sensiblement la durée de dépose. Elle dépend aussi de l'expérience et le niveau d'expertise des artisans / valoristes qui sont des métiers émergents. Il est nécessaire de monter en compétence la dépose sélective. Le temps de dépose peut donc varier d'un chantier à un autre. Il nous paraît prudent de ne pas présenter un temps de dépose à ce jour. Cependant, les chapitres suivants 5, 6, 7, 8 et 9 qui présentent les scénarios envisagés par familles d'isolants biosourcés détaillent la faisabilité de déconstruction sélective. Elle analyse ce sujet d'un point de vue de la technique opérationnelle à mettre en œuvre en soulignant le niveau de graduation de difficulté selon l'équipement/outillage, la pénibilité pour en analyser la faisabilité technique globale.

2. Contexte réglementaire des déchets du bâtiment

2.1. Quelques définitions en préambule

Le chapitre suivant rappelle les définitions des différents termes ou notions de la gestion des déchets retenues par le code de l'environnement (Article L541-1-1) :

- **Déchet** : toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ;
- **Prévention** : toutes mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet, lorsque ces mesures concourent à la réduction d'au moins un des items suivants :
 - la quantité de déchets générés, y compris par l'intermédiaire du réemploi ou de la prolongation de la durée d'usage des substances, matières ou produits ;
 - les effets nocifs des déchets produits sur l'environnement et la santé humaine ;
 - la teneur en substances nocives pour l'environnement et la santé humaine dans les substances, matières ou produits ;
- **Réemploi** : toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ;
- **Gestion des déchets** : la collecte, le transport, la valorisation et, l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité participant de l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final, y compris les activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations ;
- **Producteur de déchets** : toute personne dont l'activité produit des déchets (producteur initial de déchets) ou toute personne qui effectue des opérations de traitement des déchets conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (producteur subséquent de déchets) ;
- **Producteur au sens de la REP** : la notion de « responsabilité élargie du producteur » (REP) désigne des démarches et dispositifs qui restaurent la responsabilité du producteur des produits manufacturés qui concerne la gestion des déchets finaux ou intermédiaires générés par les produits qu'il a fabriqués ou mis sur le marché.
- **La notion de « producteur »**, recouvre toutes les entités assumant la plus grande part de responsabilité, dont le propriétaire de la marque, le fabricant, le franchisé, l'assembleur, le conditionneur, le distributeur, le détaillant ou le premier importateur du produit qui vend, met en vente ou distribue le produit.
- **Détenteur de déchets** : producteur des déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession des déchets ;
- **Collecte** : toute opération de ramassage des déchets en vue de leur transport vers une installation de traitement des déchets ;
- **Traitement** : toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination ;
- **Réutilisation** : toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau ;
- **Préparation en vue de la réutilisation** : toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement ;
- **Recyclage** : toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage ;
- **Valorisation** : toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets ;
- **Élimination** : toute opération qui n'est pas de la valorisation même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie.

2.2. Cadre réglementaire européen

Pendant plus de 10 ans, la directive n° 2008/98/CE du 19/11/08 relative aux déchets a régi les grands principes de la gestion des déchets. Elle a notamment instauré la hiérarchie des modes de traitement, en fixant un mode de priorité des modes de traitement pour la gestion des déchets. Cette hiérarchie des modes de traitement a pour but d'encourager la valorisation des déchets et donc de diminuer l'utilisation de matières premières vierges. Elle est un des piliers de la réglementation relative aux déchets.

2.2.1. Intégration du concept d'économie circulaire

Le Paquet économie circulaire a été publié au Journal officiel de l'Union européenne du 14 juin 2018 sous la forme de ces 4 directives :

- La Directive (UE) 2018/849 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2000/53/CE relative aux véhicules hors d'usage, la directive 2006/66/CE relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs, et la directive 2012/19/UE relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques,
- La Directive (UE) 2018/850 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 1999/31/CE **concernant la mise en décharge des déchets**
- Directive (UE) 2018/851 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2008/98/CE **relative aux déchets**
- Directive (UE) 2018/852 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages

2.2.2. Zoom sur la directive 2018/850 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets

Ce texte restreint à compter de 2030 la mise en décharge des déchets susceptibles d'être recyclés ou de faire l'objet d'une valorisation énergétique. Il limite également la part des déchets municipaux mis en décharge à 10 % d'ici 2035 et exige un système de contrôle de qualité et de traçabilité de ces déchets.

2.2.3. Zoom sur la directive 2018/851 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2008/98/CE relative aux déchets

2.2.3.1. Généralités

Ce texte fixe des exigences opérationnelles minimales applicables aux régimes de responsabilité élargie des producteurs (REP), renforce les règles relatives à la prévention des déchets, et définit des objectifs de recyclage des déchets municipaux. Le principe de Responsabilité élargie des producteurs est expliqué au chapitre 2.6 ci-après.

2.2.3.2. Article 9 de la prévention des déchets :

Les États membres prennent des mesures pour éviter la production de déchets. Au minimum, ces mesures : (d) encouragent le réemploi des produits et la mise en place de systèmes promouvant les activités de réparation et de réemploi, en particulier pour les équipements électriques et électroniques, les textiles et le mobilier, ainsi que pour les emballages **et les matériaux et produits de construction** ;

(f) réduisent la production de déchets dans les procédés liés à la production industrielle, à l'extraction des minéraux, à la fabrication, à la construction et à la démolition, en tenant compte des meilleures techniques disponibles ;

2.2.3.3. Article 11 « Préparation en vue du réemploi et recyclage »:

Les États membres prennent des mesures pour encourager la démolition sélective afin de permettre le retrait et la manipulation en toute sécurité des substances dangereuses et de faciliter le réemploi et le recyclage de qualité élevée grâce au retrait sélectif des matériaux, ainsi que pour garantir la mise en place de systèmes de tri des déchets de construction et de démolition au moins pour le bois, les fractions minérales (béton, briques, tuiles et céramiques, pierres), le métal, le verre, le plastique et le plâtre.»;

2.3. Principales mesures nationales réglementaires impactant les déchets

Le tableau ci-dessous récapitule les grands principes nationaux et leurs principales mesures impactant la gestion des déchets permettant de comprendre les choix en matière de scénarios de fin de vie.

Date	Texte	Objet
15/07/1975	Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux	Fixe les principes fondamentaux dont le principe pollueur-payeur
13/07/1992	Loi n°92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement	Fixe la notion de déchets ultime et leur interdiction en ISDND et développe les principes de hiérarchie des modes de traitement
13/07/1994	Décret n° 94-609 du 13 juillet 1994 régissant l'élimination des déchets résultant de l'abandon des emballages à tous les stades de la fabrication ou de la commercialisation	Les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballages industriels sont la valorisation par réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
02/02/1995	Loi n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement	Fixe la taxe sur le stockage puis deviendra la TGAP
30/05/2005	Décret n° 2005-635 du 30 mai 2005 relatif au contrôle des circuits de traitement de déchets (codifiée à l'article L.541.7 du Code de l'Environnement)	Les circuits d'élimination des déchets dangereux sont soumis à un contrôle qui se caractérise par : l'émission d'un bordereau de suivi et la tenue d'un registre par le producteur, le collecteur, le transporteur et l'exploitant d'installation de stockage retraçant toutes les opérations effectuées relatives à l'élimination de ces déchets
03/08/2009	Loi Grenelle I ou loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre des 268 engagements du Grenelle Environnement	3 grands objectifs : Réduire de 7 % la production d'OMA Augmenter le recyclage de 35 % à 45 % les DMA de 2012 à 2015 Diminuer de 15 % d'ici à 2012 la quantité de déchets partant en incinération, en enfouissement et en stockage.
12/07/2010	Loi Grenelle II ou loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement qui en décline les objectifs en dispositions plus précises en 57 articles groupés en 6 titres pour formuler un cadre d'action pour répondre à l'urgence écologique et besoin de transition écologique.	Instaure notamment le diagnostic déchet avant démolition
17/08/2015	Loi de transition énergétique pour la croissance verte	70 % de valorisation matières des déchets du secteur BTP
10/03/2016	Décret portant diverses dispositions d'adaptation et de simplification dans le domaine de la prévention et de la gestion des déchets (Article 5)	Instauration du tri à la source des 5 flux
10/02/2020	LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire	Accélération du changement des modèles de production et de consommation afin de réduire les déchets et préserver les ressources naturelles, la biodiversité et le climat

2.4. Principales mesures impactant les déchets du bâtiment

Date	Texte	Objet
12/07/2010	Loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement	Engagement 256 : Rendre obligatoire les diagnostics préalables aux chantiers de démolition (loi Grenelle) Engagement 257 : Mettre en place un instrument économique affecté pour encourager la prévention de la production de déchets du BTP et leur recyclage
31/05/2011	Décret n° 2011-610 du 31 mai 2011 relatif au diagnostic portant sur la gestion des déchets issus de la démolition de catégories de bâtiments	Diagnostic déchets obligatoire avant démolition
17/08/2015	Loi de transition énergétique pour la croissance verte	70 % de valorisation matières des déchets du secteur BTP Reprise des matériaux par les distributeurs Exemplarité de l'Etat sur ces chantiers TP
10/03/2016	Décret portant diverses dispositions d'adaptation et de simplification dans le domaine de la prévention et de la gestion des déchets (Article 5)	Reprise des matériaux par les distributeurs Décret 5 flux
10/02/2020	Loi de la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire – Article 51	Remplacement du diagnostic déchets du décret 2011 par l'obligation de réalisation d'un diagnostic relatif à la gestion des produits, matériaux et déchets issus de ces travaux
10/02/2020	Loi de la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire – Article 54	Dans le cadre d'un chantier de réhabilitation ou de démolition de bâtiment, si un tri des [...] produits de construction est effectué par un opérateur qui a la faculté de contrôler les produits [...] pouvant être réemployés, les produits [...] destinés au réemploi ne prennent pas le statut de déchets.
10/02/2020	Loi de la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire – Article 35	Obligation aux producteurs, importateurs et distributeurs de réemployer leurs invendus non alimentaires neufs , notamment par le don à des associations et l'ESS ou de réutiliser et recycler destinés à la vente au plus tard le 31 décembre 2023.
10/02/2020	Loi de la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire – Article 74	Introduction du tri séparé des déchets, notamment le tri 7 flux pour les déchets de chantiers
29/12/2020	Décret n° 2020-1817 du 29 décembre 2020 portant sur les informations des devis relatives à l'enlèvement et la gestion des déchets générés par des travaux de construction, de rénovation, de démolition de bâtiments et de jardinage et des bordereaux de dépôt de déchets	A l'attention des entreprises de travaux qui devront systématiquement intégrer dans leur devis les quantités de déchets qu'ils comptent produire et leurs modalités de gestion en précisant notamment le tri qui sera effectué. A l'attention des installations de collecte, y compris les déchèteries publiques qui devront remettre un bordereau de dépôt. Article 5 : Tri 7 flux pour les déchets de construction et de démolition
25/06/2021	2 décrets relatifs au diagnostic portant sur la gestion de produits, équipements matériaux, et des déchets issus de la démolition ou de la rénovation significative de bâtiments	Le nouveau diagnostic appelé diagnostic relatif à la gestion des produits, matériaux et déchets issus de ces travaux voit son champ s'élargir en prenant mieux en compte le réemploi et en intégrant les chantiers de réhabilitation.

2.5. Zoom sur le nouveau diagnostic produits, matériaux et déchets et opportunités

L'article 51 de la Loi « AGECE » modifie en profondeur le décret du 31 mai 2011 qui concerne l'obligation de réalisation d'un diagnostic déchets avant démolition. Les décrets n°2021-821 et 2021-822 prévoient un remplacement de ce diagnostic déchets vers un diagnostic « Produits, équipements, matériaux et déchets » pour aller dans le sens de la récupération des matériaux. « Lors de travaux de démolition ou réhabilitation significative de bâtiments, le maître d'ouvrage est tenu de réaliser un diagnostic relatif à la gestion des **produits, équipements, matériaux et déchets** issus de ces travaux. Ce diagnostic fournit les informations nécessaires relatives aux P.E.M.D **en vue, en priorité, de leur réemploi et à défaut, de leur valorisation**, en indiquant les filières de recyclage recommandée [...].

2.6. Le principe de responsabilité élargie des producteurs (REP)

2.6.1. Explication générale

Les filières à responsabilité élargie des producteurs (REP) sont des dispositifs particuliers d'organisation de la prévention et de la gestion de déchets qui concernent certains types de produits. Ces dispositifs reposent sur le principe de responsabilité élargie du producteur, selon lequel les producteurs, c'est-à-dire les personnes responsables de la mise sur le marché de certains produits, peuvent être rendus responsables **de financer ou d'organiser la gestion des déchets issus de ces produits en fin de vie**. Les producteurs choisissent généralement de s'organiser collectivement pour assurer ces obligations dans le cadre d'éco-organismes à but non lucratif, agréés par les pouvoirs publics.

2.6.2. Le fonctionnement des éco-organismes

Les producteurs ont généralement le choix de mettre en place des structures collectives (éco-organismes) ou un système individuel.

Ils passent le plus souvent par la solution collective en se regroupant pour constituer une structure à but non lucratif, à laquelle ils versent une éco-contribution (cotisation financière).

Il y a deux modèles de fonctionnement des éco-organismes selon les filières :

- éco-organisme contributif ou financier. Les éco-organismes récoltent les éco-contributions auprès des producteurs et les redistribuent aux collectivités territoriales qui assurent la collecte et le tri de ces déchets (ce modèle concerne notamment les déchets d'emballages ménagers et de papiers graphiques).
- éco-organisme opérationnel. L'éco-organisme récolte les éco-contributions des producteurs et utilise ces fonds pour contractualiser lui-même avec des prestataires qui assurent la collecte et le traitement des déchets.

Les contributions versées aux éco-organismes doivent être modulées, selon des critères environnementaux incitatifs liés à l'éco-conception des produits, pour faire prendre conscience aux producteurs de l'intérêt de concevoir des produits qui sont facilement triables, recyclables ou qui intègrent des matières premières de recyclage.

2.6.3. Situation actuelle et à venir des REP en France

La France est l'un des pays européens qui utilise le plus le principe de responsabilité élargie des producteurs dans la structuration de ses filières de gestion des déchets. On compte actuellement une quinzaine de filières REP. La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, dite loi "AGEC", du 10 février 2020, a prévu de créer, de 2021 à 2025, une dizaine de filières supplémentaires.

Une des filières concerne les matériaux de construction du secteur du bâtiment pour une mise en œuvre dès 2022. L'ampleur de l'organisation entraîne un peu de retard. En octobre 2022, 4 éco-organismes ont été agréés pour mettre en œuvre la REP PMCB.

2.6.4. Zoom sur l'étude de préfiguration de la future REP bâtiment (REP PMCB)

En 2020, l'ADEME a mené une étude de préfiguration de la future REP bâtiment en concertation avec les acteurs concernés. Cette étude apporte des premiers éléments de réflexion en vue de la future rédaction du cahier des charges d'agrément.

Le périmètre de la future REP comprend tous les produits et matériaux de construction du bâtiment (PCMB, Produits), sont visés, y compris l'amiante, mais pas les terres excavées. Les déchets générés par l'aménagement de la parcelle sont aussi inclus

L'étude de Préfiguration de la filière REP des produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment éditée par l'Ademe fixe plusieurs lignes directrices :

- Développer le maillage des points de reprise afin d'offrir des solutions de proximité aux détenteurs sur tout le territoire,
- Déterminer les modalités de la reprise sans frais des déchets faisant l'objet d'une collecte séparée,
- Renforcer la traçabilité des déchets,

- Développer le recyclage/valorisation des déchets de PMCB, en particulier ceux présentant de faibles performances de recyclage/valorisation,
- Amplifier le réemploi/réutilisation des PMCB,
- Développer l'éco-conception

2.6.5. Zoom décret relatif à la responsabilité élargie du producteur pour les PMCB

Le décret précise les dispositions relatives à la création de la filière REP. Le décret précise le champ d'application, les producteurs visés par ces dispositions, ainsi que les conditions de collecte séparée donnant lieu à une reprise sans frais des déchets, les conditions minimales du maillage territorial de ces points de reprise, les modalités d'action des éco-organismes de la filière et l'obligation de reprise par les distributeurs.

On entend par « produits et matériaux de construction », **les matériaux et produits, y compris de décoration, fabriqués en vue d'être incorporés, assemblés, utilisés ou installés dans des bâtiments ou des parcelles sur lesquelles ils sont construits. 2 grandes catégories et plusieurs familles sont définies par le décret :**

- Les produits et matériaux de construction constitués majoritairement de minéraux et équipements sanitaires et de salle d'eau en minéraux, ne contenant pas de verre ;
- Les produits et matériaux de construction relevant des familles suivantes :
 - P&M constitués majoritairement de métal,
 - P&M constitués majoritairement de bois,
 - Mortiers, enduits, peintures, vernis, résines, produits de préparation et de mise en œuvre, y compris leur contenant, (autres que ceux mentionnés à l'article R 543-228) ;
 - Menuiseries, parois vitrées et produits de construction connexes,
 - P&M de construction à base de plâtre,
 - P&M de construction constitués majoritairement de plastique,
 - P&M à base de bitume, P&M à base de laines minérales,
 - P&M d'origine végétale, animale, à base de textile et non tissés et géotextiles, ou autres matériaux non cités dans une autre catégorie...

Les dispositions s'appliquent aux déchets issus des produits ou matériaux de construction du secteur bâtiment mis en vente avant le 1^{er} janvier 2022, y compris ceux dont la mise sur le marché a été interdite avant cette date.

Sont exclus les terres excavées, les installations techniques industrielles, les installations nucléaires, les monuments funéraires.

Les modalités de la collecte séparée sont définies selon les flux énumérés dans le décret à la section précédente (ci-dessus) ou selon les flux spécifiés à l'article D.543-281. Les déchets dangereux seront triés à part, conformément à l'article L 541 - 7 - 2.

La collecte séparée présente deux dérogations et donne la possibilité de collecter les déchets en mélange, mentionnées à l'article D. 543-281 :

- pour les déchets produits sur leurs chantiers respectant l'une des conditions suivantes :
 - a) Il n'est pas possible d'affecter, sur l'emprise du chantier, une surface au moins égale à 40 m² pour le stockage des déchets ;
 - b) Le volume total de déchets généré sur l'ensemble de la durée du chantier, tous déchets confondus, est inférieur à 10 m³.
- Pour les déchets appartenant à la catégorie des déchets de papier, de métal, de plastique, de verre, de textiles, de bois et de fraction minérale peuvent être conservés ensemble en mélange, pour tout ou partie des flux, dès lors que cela n'affecte pas leur capacité à faire l'objet d'une préparation en vue de leur réutilisation, d'un recyclage ou d'autres opérations de valorisation conformément à la hiérarchie des modes de traitement, définie à l'article L. 541-1 du présent code. La valorisation des déchets ainsi collectés conjointement présente une efficacité comparable à celle obtenue au moyen d'une collecte séparée de chacun des flux de déchets.

La reprise des déchets peut être réalisée sur différents lieux de collecte :

- Une installation qui accueille les déchets du bâtiment apportés par leurs détenteurs,
- Les entreprises du secteur du bâtiment qui regroupent dans leurs installations des déchets du bâtiment issus de leur activité
- Par les opérateurs de gestion des déchets sur le lieu d'un chantier de construction, rénovation, démolition lorsque la quantité de déchets produits est supérieure à 50 m³ :

Les conditions de collecte des déchets en mélange, comme décrit ci-dessus peuvent avoir lieu sur une déchèterie, sur un distributeur, pour une entreprise du bâtiment, sur un chantier, selon les dérogations explicitées ci-dessus.

Il est possible pour l'éco-organisme de proposer des règles de tri plus exigeante, en contrepartie d'une compensation financière.

L'éco-organisme pourra exercer son activité sur l'ensemble des catégories ou une seule des catégories.

Pour les produits à double usage, c'est-à-dire pouvant être utilisés pour la réalisation d'ouvrages de génie civil et de travaux publics, l'éco-organisme proposera aux producteurs de déduire de leur contribution financière cette part. Un contrat type peut prévoir les modalités d'identification des P&M.

L'éco-organisme élabore le maillage territorial des installations de reprise des déchets du bâtiment. Il élabore pour chaque région du territoire national un projet de maillage territorial tenant compte des plans régionaux de prévention et de gestion des déchets. Ce projet tient en compte les installations existantes y compris les déchèteries des collectivités locales

Le maillage projeté respecte au moins les conditions suivantes :

- Niveau de service satisfaisant pour chaque zone d'emploi définie par l'atlas de l'INSEE au regard du nombre d'habitants et du nombre d'entreprises du secteur de la construction ;
- Il vise à respecter une distance moyenne entre le lieu de production des déchets et les installations de reprise des déchets de 10 à 20 km en fonction de la densité d'habitants et d'entreprises du bâtiment
- Toute installation des déchets propose de reprendre au moins l'ensemble des flux de déchets spécifiés à l'article D543 - 81
- Le projet de maillage est établi en concertation avec les collectivités territoriales chargée du service public

L'éco-organisme transmet le projet de maillage au plus tard 10 mois à compter de la date de son agrément et sera soumis à consultation auprès du comité des parties prenantes de l'autorité administrative et de l'autorité

Le cahier des charges précisera les modalités d'application du présent article, notamment :

- Les caractéristiques de densité des zones d'emploi pour l'application de la distance moyenne concernant le maillage,
- La période d'ouverture des installations de reprise des déchets qui est prise en compte pour le maillage,
- Les conditions de déploiement progressif des installations de reprise des déchets prévus par le projet de maillage.
- Concernant la gestion opérationnelle des déchets, tout éco-organisme passe des marchés afin de pourvoir à la reprise des déchets du bâtiment et afin d'assurer le maillage territorial... Il pourvoit au traitement de ces déchets dans les mêmes conditions. Le cahier des charges pourra préciser, après avis de l'autorité de la concurrence, les modalités d'allotissement de ces marchés
- Concernant les conditions de couverture des coûts de gestion des déchets et des soutiens financiers, tout Eco-organisme établit un contrat type dans les conditions prévues aux articles R 541-104 et R 541-105 qui précise
 - Les modalités de la couverture des coûts supportés par toute personne assurant la reprise des déchets du bâtiment et les obligations qui lui incombent en matière de traçabilité de ces déchets
 - Les modalités de collecte séparée des déchets auprès des personnes qui ont assuré cette reprise, afin que l'éco-organisme pourvoie à leur transport et leur traitement,
- Concernant les conditions de valorisation financière des actions individuelles des producteurs, l'éco-organisme respecte les conditions visées à l'article R 541-120
- Concernant le plafonnement de la prise en charge des déchets amiantés, l'éco-organisme peut limiter la prise en charge des déchets qui en sont issus lorsque le coût annuel de reprise en charge de ces déchets dépasse 15 % des contributions financières qui lui sont versées annuellement par les producteurs.
- Coordination en cas de pluralité d'éco-organismes – les dispositions du présent article s'appliquent lorsque plusieurs éco-organismes sont agréés pour les produits ou matériaux de construction du secteur du bâtiment. Les éco-organisme mettent en place de manière coordonnée un guichet unique offrant aux détenteurs de déchets du bâtiment un service simplifié permettant la reprise des déchets. Les éco-organismes se coordonnent afin de formuler une proposition conjointe de maillage territorial tel que prévu à l'article R 543-290-3 et afin que toute installation de reprise des déchets incluse dans le maillage propose aux détenteurs de reprendre au moins l'ensemble des flux de déchets
- Possibilité pour l'éco-organisme agréé que sur l'une des catégories de produits ou matériaux de construction du secteur du bâtiment de se coordonner avec un autre éco-organisme agréé sur l'autre catégorie, si ce dernier l'accepte, afin de passer les marchés de collecte nécessaires à la mise en œuvre du maillage territorial
- Les éco-organisme se coordonnent afin de formuler une proposition conjointe de contrat type destinées aux collectivités qui assurent la reprise des déchets du bâtiment [...]

Concernant les obligations de reprise des déchets appliquée aux distributeurs, sont concernés les distributeurs disposant d'une surface de vente de ces produits d'au moins 1 500m² et d'un chiffre d'affaires annuel supérieur à un million d'euros. L'espace d'entreposage des produits est pris en compte pour l'application du critère de surface précité.

2.7. Impact des évolutions réglementaires sur l'étude des scénarios en fin de vie

La réglementation donne clairement la priorité au réemploi : le réemploi des matériaux du bâtiment représente une opportunité prioritaire. Notre projet R&D en tient compte et nous regarderons dans un premier temps les opportunités pour les isolants biosourcés d'intégrer une filière de réemploi.

De nouveaux outils permettent de mieux caractériser les typologies de matériaux utilisés dans les bâtiments et leur état permettront de changer les pratiques actuelles : se servir du diagnostic « P.E.M.D » avant déconstruction pour observer et analyser l'état des matériaux et étudier la possibilité de leur réemploi

Les fabricants auront donc l'obligation de prendre en charge la gestion en fin de vie des matériaux qu'ils mettent sur le marché. Regroupés sous forme d'un ou plusieurs éco-organisme, ils vont mettre en œuvre un dispositif de reprise des déchets du bâtiment en fin de vie. Les modalités de mise en œuvre, REP Opérationnelle ou REP financière ne sont pas encore tranchées. Le cahier des charges à destination du (des) futur(s) éco-organismes souhaitant se positionner a été publié en mai 2022 mais il apporte peu d'éléments supplémentaire au décret.

3. Opportunités d'une filière de réemploi

3.1. Benchmark et retours d'expériences

Les isolants biosourcés sont des matériaux utilisés récemment dans la construction. **Il existe encore peu de retours d'expériences de projets de rénovation ou de déconstruction.** Quelques cas spécifiques ont été rencontrés et ont démontré des possibilités vis-à-vis du réemploi. Ces cas sont listés ci-après.

3.1.1. Enseignements issus d'autres démarches sur le réemploi d'isolants non biosourcés

En 2017, l'ADEME a publié un rapport intitulé « Les conditions de développement de filières spécifiques de réemploi / réutilisation d'isolants et de fenêtres en bois ».

Le projet a été porté par Emmaüs France qui s'est appuyé de divers partenaires dont le CSTB, La Chambre Syndicale Française Etanchéité (C.S.F.E) et d'autres collaborateurs.

Les isolants étudiés dans le cadre de ce projet sont les laines minérales et les mousses polyuréthanes en panneaux rigides. Il est intéressant d'analyser comment le projet a travaillé sur la question de requalification des produits avant toutes nouvelles applications. Plusieurs facteurs ont été soulevés pour étudier les solutions de réemploi sur les années à venir.

Le projet a d'abord intégré une analyse réglementaire des isolants et notamment l'analyse des exigences réglementaires de la mise sur le marché qui s'applique aux produits neufs attribués à ce type de matériaux. Les textes réglementaires analysés ont été les suivants : Le règlement de produit de Construction (RCP) et Marquage CE, L'étiquetage des polluants volatils, les règlements relatifs aux substances dangereuses. Le travail d'analyse du cadre réglementaire a soulevé des questions qui se révèle pertinente pour le réemploi des isolants biosourcés.

- Le matériau issu de la déconstruction devra comme pour un matériau neuf vérifier que ses caractéristiques techniques puissent répondre aux exigences de performance du produit. Le vieillissement du produit pourrait avoir affecté les caractéristiques techniques. Il n'est pas possible de récupérer le marquage CE initial du produit neuf ou une certification des performances du produit neuf. A cela s'ajoute l'évolution des réglementations vis-à-vis des performances à atteindre. Il s'agira de vérifier que les produits de réemploi puissent répondre à ces évolutions de performance.
- Certains isolants biosourcés sont potentiellement émetteurs de COV. Le matériau ancien réemployé devrait satisfaire à minima au niveau d'exigence des produits neufs. Il est de ce fait recommandé de prévoir l'étiquetage des produits réemployés.
- Sur les substances dangereuses, la composition du produit n'est pas connue au moment de la déconstruction. La question qu'il se pose alors est de savoir si la composition des produits n'a pas trop changé depuis leur mise sur le marché et leur utilisation, et s'il peut être considéré alors qu'il n'y a pas de nouvelles obligations auprès de REACH.
- Le projet réalisé en 2017 a ensuite intégré une caractérisation du gisement basée sur des observations sur chantier. Des observations de terrain ont permis de définir des critères permettant de faire une première sélection visuelle des isolants potentiellement réemployables. Les critères ont été mentionnés comme conditions de vieillissement incompatibles avec le réemploi. Ces critères mentionnés dans le cadre de l'étude peuvent tout à fait être pertinents pour les isolants biosourcés notamment quand ils sont mis en œuvre en panneau :
 - panneaux placés à proximité d'un équipement nécessitant des interventions en toiture (par exemple : conduit de ventilation)
 - panneaux fixés avec des vis non résistantes au passage (circulation de personnes)
 - zone d'intervention d'autres corps d'état
 - le diagnostic a révélé que l'isolant était mouillé

3.1.2. Cas de réemploi de la ouate de cellulose en vrac et appliquée en insufflation en caisson

L'article publié sur le site internet **Construire-tendance** du 16 juillet 2016, évoque un retour d'expérience lors du démontage de 2 maisons dont l'isolation avait été posée l'une depuis 21 ans, l'autre depuis 17 ans. Le constructeur autrichien PRONATURHAUS a réalisé une maison témoin à ossature bois à Wiener Neustadt, en Autriche. Isolée en ouate de cellulose en 1992, la maison a été démontée en 2013 et remontée plus loin pour devenir une maison d'habitation. Agréable surprise à l'ouverture : rien n'était détérioré tant au niveau de la fiabilité que de la longévité de l'isolant mis en place par insufflation. Ainsi, l'isolation des murs et de la toiture ne montrait aucun signe d'affaissement, de déformation, de moisissure ni d'autre dégradation de sa qualité. Les facteurs clés ayant permis le réemploi des matériaux est expliqué grâce à une pose adaptée d'un matériau à bonne densité dans les deux cas.

Que ce soit pour le cas des murs à ossature bois, mais aussi pour celui de combles découverts après 17 années, la quantité de matériau et la densité d'insufflation ont joué un rôle décisif.

3.1.3. Cas de réemploi de la fibre/laine de bois

« L'Atelier moins mais mieux » est une structure coopérative basée à Nantes. La structure est portée par deux personnes : Audrey Bigot et Martin Barraud. Ils ont récemment publié un guide intitulé « Autoconstruire en Réemploi ». Ce guide montre des exemples de réemploi avec les précautions à prendre. Il intègre notamment un exemple sur des chutes de laines de bois. D'après un entretien avec Sophie Costeau, chargée d'étude-action au Recyclage Lodévois, La ressourcerie de Lodève a participé en septembre 2019 à un chantier de curage d'une maison individuelle. Ce chantier a expérimenté une démarche de réemploi comprenant le démontage en vue de réemploi de baies vitrées, fenêtres, portes d'intérieur, portail, pompe à chaleur, vasques, tuyaux, interrupteurs, prises électriques, tuiles, isolation, madriers, chevrons, volige. Ce démontage a permis de récupérer 10 tonnes de matériaux déconstruits ...directement réemployables !
Sur le démontage de l'isolation, des panneaux de fibres de bois ont pu être récupérés.

3.1.4. Cas spécifique de la botte de paille

La mise en œuvre en caisson bois permet de garder une très bonne qualité des bottes de paille.

3.1.5. Synthèse du benchmark et retour d'expériences

Bien que les retours d'expériences soient peu nombreux, il existe cependant des cas spécifiques où le réemploi des isolants en fin de vie a pu être expérimenté. Ces retours montrent que le réemploi peut être envisagé et dépend par exemple des conditions de mises en œuvre et du mode constructif qui a été choisi.

3.2. Impacts des modes et techniques de construction

En vrac, en rouleau, sous forme de plaque, de bille ou encore d'enduit, il existe de nombreuses méthodes d'isolation. On observe en majorité les isolants biosourcés de type ouate de cellulose, textile recyclé, mixte chanvre/lin/coton pour une utilisation des combles perdus et en murs et cloisons. La botte de paille, le béton de chanvre et la fibre de bois peuvent eux se trouver en isolation extérieure. Dans une paroi, l'isolation se trouve soit du côté extérieur, où elle est alors protégée par un parement extérieur, soit du côté intérieur, revêtue d'un parement intérieur (Placo, Fermacell...). On trouve également des solutions techniques où l'isolant est placé au centre de la paroi (entre ossature bois). Dans le cas particulier des monomurs, un seul et même élément constructif assume à la fois les fonctions d'isolation et de mur porteur (à condition que l'épaisseur soit suffisante), d'où le terme monomur. D'après nos entretiens, certains modes de construction compliqueraient le réemploi des matériaux en fin de vie, notamment parce que les matériaux auront subi des modifications pendant la construction ou parce que le mode constructif va gêner une dépose soigneuse qui ne sera pas envisageable.

À partir de nos entretiens, le tableau ci-dessous présente un premier impact des modes de construction en vue du réemploi :

Opportunité du réemploi dans le cas d'une utilisation en murs et cloisons :

Collage avec enduit	Fixé mécaniquement sur béton entre tige rosace	Intégré dans des caissons pour une structure bois	Intérieur : système place avec des fourrures métalliques	Collage avec enduit
Complexe	Envisageable	Envisageable	Envisageable mais pose question si l'isolant est détérioré par les réseaux	Complexe

- En fonction des méthodes d'application, nous aurons une étape de démantèlement plus ou moins facile et envisageable.
- Le Seddre souligne notamment que la question des scénarios en fin de vie touche nécessairement la question du démantèlement. Il apparaît ici un vrai défi qui va plus loin que l'éco-conception du produit : on parle alors d'éco-construction. Ce défi est un défi majeur pour le secteur du bâtiment en général et n'est pas propre aux isolants mais à

l'ensemble des filières du bâtiment. Actuellement, les chantiers de déconstruction éprouvent de grandes difficultés à séparer les matériaux, notamment dues aux techniques de mise en œuvre d'il y a 30 ans. L'éco-conception d'un produit fait partie des réflexions fortes des fabricants aujourd'hui mais l'impact de la mise en œuvre sur la fin de vie est encore peu pris en compte dans les réflexions de la construction du bâtiment.

3.3. Synthèse des opportunités et freins vis-à-vis du réemploi des isolants biosourcés en fin de vie

Les entretiens nous ont permis de faire ressortir les éléments suivants :

Opportunités au réemploi / réutilisation	Freins au réemploi / réutilisation
Des durées de vies des produits souvent bien supérieures à la durée d'un projet, notamment dans des bâtiments industriels et bâtiments tertiaires	Pollution par des poussières, des nuisibles, des produits et traitements divers (mort aux rats ...), d'autres matériaux (à voir au cas par cas), dans le cas de projet de rénovation avec application de l'isolant sur l'ancien isolant (souvent laine de verre)
Les panneaux et matelas présentent largement plus de potentiel que les matériaux soufflés, collés et en mousse	Pollution lors de la dépose sur le chantier pendant la réhabilitation
Le choix des modes constructifs impacte les possibilités de réemploi d'un isolant en fin de vie	Difficulté d'identifier le type d'isolants appliqués par le chef de chantier
Des premiers retours d'expériences sur les panneaux d'isolants plus classiques (laine de verre, laine minérale) qui ont montré la possibilité d'un réemploi dans des cas spécifiques	Contraintes temporelles sur les chantiers de déconstruction
Il y a également un potentiel sur les chutes de pose en vue de réemploi	Contraintes économiques liées à l'enjeu sur la ressource
	Contraintes techniques : veiller à ce que les produits disposent toujours des bonnes performances
	Contraintes techniques : isolants en panneaux : dimensions des bandes peuvent être hétérogènes

Tableau 2 : Opportunités et freins au réemploi de isolants biosourcés

Les contraintes liées au réemploi et à la réutilisation sont nombreuses. C'est pourquoi il sera important, si le réemploi s'avère une filière potentielle à développer, d'informer clairement sur cette possibilité et de donner des procédures claires comprenant des méthodes et outils le plus tôt possible pour aider les acteurs à envisager cette filière.

3.4. Organisation à mettre en œuvre pour le réemploi

3.4.1. Nouveaux acteurs intervenant dans la filière du réemploi/réutilisation

D'une manière générale dans le bâtiment, le secteur du réemploi est peu développé. Cependant, depuis 2015 en France et un peu avant en Belgique, les architectes soucieux d'éviter le gaspillage ont mené plusieurs projets démontrant le réemploi possible de nombreux produits.

Historiquement, bien que le réemploi soit une pratique utilisée depuis bien longtemps, les révolutions industrielles du XX^{ème} siècle ont développé une société basée plus que sur le modèle économique dit « linéaire », qui se résume à 'extraire - fabriquer - consommer - jeter', c'est-à-dire qui consomme des ressources naturelles et de l'énergie pour fabriquer des produits qui deviendront, en fin de compte, des déchets.

Depuis quelques années, pour faire face aux pressions écologiques et environnementales, le réemploi est une pratique qui montre de grands avantages face aux défis à venir, et notamment l'économie de ressources. **Le réemploi de matériaux de construction répond aux problématiques de rarefaction des ressources et de production des déchets.** Au-delà de la simple question de l'intégration d'un matériau de seconde vie dans une construction, le réemploi embrasse de nombreux principes

de l'économie circulaire tout au long du processus de projet : organisationnel, logistique, technique, culturel. Ces défis se raisonnent à l'échelle du territoire et à celle de l'architecture.

Pour utiliser des matériaux de réemploi/recyclés de qualité, **toute une nouvelle chaîne de déconstruction et production doit se mettre en place, localement préférentiellement, notamment pour le réemploi/réutilisation.**

Une nouvelle chaîne de production, conception doit se reconstruire. Elle est portée **en partie par les acteurs de la construction** qui doivent mettre en place de nouvelles pratiques, outils, moyens en vue d'améliorer le réemploi et la réutilisation sur chantier et **de nouveaux acteurs, notamment les structures de l'économie sociale et solidaire** qui se positionne sur cette activité.

D'une manière générale, des retours d'expériences prometteurs menés **par des collectifs d'architectes, ingénieurs du bâtiment** montrent que le réemploi des matériaux sur les chantiers peut largement se développer. Le réemploi devient une réalité attractive au cœur des projets de construction / réhabilitation. Les maîtres d'ouvrage s'emparent petit à petit de ces nouvelles pratiques et montrent, eux aussi, qu'il est possible de récupérer, réparer, pour réutiliser pour approvisionner leurs propres chantiers.

3.4.2. Différentes solutions de réemploi/réutilisation peuvent s'offrir au MOA

Différentes solutions s'offrent à la maîtrise d'ouvrage pour promouvoir les filières de réemploi/réutilisation. Les différentes solutions sont décrites ci-dessous. En fonction de la solution qui sera choisie, l'organisation à mettre en œuvre pour récupérer les matériaux, les stocker doit être adaptée. La filière de réemploi choisie joue également sur les aspects administratifs et juridiques.

On distingue :

Réemploi direct sur l'opération	• Le réemploi direct sur son opération, c'est-à-dire la conservation en l'état des matériaux pour les intégrer dans l'aménagement futur de l'opération	Reste la propriété du MOA
Réutilisation par les services du MOA	• Différents services du maître d'ouvrage montre un intérêt de récupérer des éléments sur un autre projet	Reste la propriété du MOA
Réutilisation via une matériauthèque	• Réutilisation par des acteurs locaux ayant montré un intérêt aux produits	Sort de la propriété du MOA
Réutilisation lors d'une vente exceptionnelle sur le chantier	• Organisation d'une vente exceptionnelle / occasionnelle permettant aux personnes intéressées de venir chercher les matériaux sur site	Sort de la propriété du MOA
Réutilisation via une plateforme numérique	• Mise à disposition des isolants, via une plateforme numérique de vente/dons par exemple	Sort de la propriété du MOA

En fonction du mode de réemploi et réutilisation qui sera privilégié par la maîtrise d'ouvrage, l'impact sur les aspects techniques, administratifs et juridiques seront différents et devront être mis en œuvre. Il existe des contrats de cession permettant de garder la traçabilité des dons ou ventes qui auront été réalisées.

3.4.3. Assurances sur la performance des isolants issus du réemploi

Les isolants en vue d'incorporer une filière de réemploi devront subir de nouveaux tests afin d'assurer la bonne qualité des isolants. Ces tests devront dans un premier temps valider leur conformité vis-à-vis de leurs performances et démontrer qu'il ne présente pas de risques.

Nouveaux tests à vérifier	Aptitudes au réemploi/réutilisation
Performance et risques (ATec CSTB)	La conductivité thermique et la résistance thermique / Résistance au feu / Risque sanitaire
Garantie de qualité et fiabilité (ACERMI)	Incompressibilité (I), stabilité dimensionnelle (S), comportement à l'eau (O), résistance à la traction (L), perméance à la vapeur d'eau (E)

3.4.4. Méthodologie et outils en développement pour favoriser le réemploi

Le diagnostic Produits, équipements, matériaux et déchets est la première étape permettant d'analyser l'état des matériaux. Dans le cadre de ce diagnostic, le diagnostiqueur pourra réaliser une première observation des matériaux pour vérifier leur état et pourra en fonction, déterminer comment il faut déposer les matériaux présents sur le chantier.

Cette observation doit être menée par un diagnostiqueur qui possède des compétences sur les matériaux afin qu'il puisse s'apercevoir en fonction du mode de construction et de l'état des matériaux si ceux-ci sont encore en bon état et si le mode d'application permet de déposer soigneusement les matériaux.

Après un premier contrôle visuel de la matière, le diagnostiqueur peut établir une liste de tests possibles afin d'étudier si une réutilisation est possible afin de garantir la performance des matériaux.

Les fabricants pourraient informer le diagnostiqueur ou les structures potentiellement intéressées par leur réemploi des tests ou attestations techniques nécessaires en vue de leur réutilisation afin de les rassurer sur ce potentiel. Quelles sont les possibilités de réutilisation vis-à-vis des normes des produits de construction ?

Le diagnostic doit également indiquer quels sont les moyens dont on dispose pour assurer le stockage des matériaux ? Quelles conditions de dépose, tri/démantèlement faut-il mettre en œuvre pour garder les matériaux en bon état ?

Le maître d'ouvrage se pose les questions vis-à-vis des responsabilités des différents acteurs dans le cadre du don ou vente des matériaux ?

Enfin pour chaque territoire, l'écosystème du réemploi est en pleine évolution. Certains territoires disposent déjà de plusieurs structures potentiellement intéressées, tandis que d'autres sont dépourvus d'acteurs. Pour chaque territoire, la question y-a-t-il des structures locales intéressées par les matériaux ? Existe-t-il un écosystème (artisans, entreprises) capable de démonter sélectivement les matériaux localement pour mettre en place un tri à la source sur le chantier ? Ces questions doivent se poser afin de vérifier la faisabilité du projet.

Le diagnostic « PEMD » doit permettre d'anticiper la partie opérationnelle du chantier. Le maître d'ouvrage pourra intégrer ses exigences dans ses cahiers des charges travaux et prévoir l'organisation à mettre en œuvre durant toute la durée du chantier pour atteindre ses objectifs. Un bon « diagnostic PEMD » doit contenir une première étape technique plutôt liée à la connaissance des matériaux et à leur utilisation et une seconde étape liée à la gestion des déchets et leurs filières. Surtout il doit être porté par un maître d'ouvrage volontaire qui met au cœur de ses projets la préservation des ressources et l'envisage de progresser sur ce sujet.

Les outils digitaux : les applications du BIM s'élargissent à la fin de vie des bâtiments, en intégrant les informations de déconstruction, de recyclage, de réutilisation. L'objectif est d'anticiper le potentiel de réemploi des matériaux dès l'étape de conception d'un bâtiment, en utilisant le BIM. L'article Batiactu, publié en février 2018, à travers des entretiens avec Erwan Le Meur, président de Federec BTP, et Matthieu Defenin, responsable BIM pour Domolandes, présente les opportunités des outils digitaux en développement et la fin de vie des bâtiments.

Au Royaume-Uni notamment apparaît déjà la notion de "DRIM" pour "Deconstruction & Recovery Information Modeling".

Les outils digitaux permettront de caractériser les bâtiments grâce à des données sur les matériaux employés, leur nature et leur quantité. Grâce à cette modélisation, il sera ensuite possible de procéder à des simulations de chantier de déconstruction, en insérant des modèles virtuels d'engins spécifiques (grues, pelles mécaniques...). **Ces simulations permettront de choisir la meilleure option sur la méthode à employer**, par rapport à la résistance structurelle du bâtiment, et ainsi optimiser le phasage et la planification des travaux de déconstruction. L'outil permettra donc de résoudre la problématique d'identification des matériaux mis en œuvre qui est un vrai frein aujourd'hui au réemploi.

Le deuxième intérêt dans l'outil est d'alimenter une "banque de matériaux" potentiellement réutilisables dans d'autres édifices. Même si ce réemploi pose certaines questions comme nous l'avons vu ci-dessus vis-à-vis des performances ou

qualité du matériau après une utilisation de plusieurs années, la maquette numérique apportera plus de traçabilité, si des objets sont, par exemple, employés dans plusieurs constructions successives. "Ce suivi sera important, qu'il s'agisse de produit de la construction ou de matériaux".

D'après l'article, l'enjeu sera de bien définir leurs caractéristiques, leur état de fonctionnement et leur conformité à certaines normes.

3.4.5. Schéma d'organisation d'une filière de réemploi

Le maître d'ouvrage a un projet de déconstruction ou réhabilitation lourde.

Le Diagnostiqueur ou l'AMO Réemploi repère la mise en œuvre d'isolants biosourcés en bon état et accompagne le maître d'ouvrage dans la mise en œuvre du réemploi dans son opération. Il réalise un diagnostic « produits, matériaux, déchets et identifie les matériaux pouvant être réemployés.

Qu'il s'agisse d'une récupération par le maître d'ouvrage ou d'une mise des isolants sur le marché, il préconise les tests nécessaires à la vérification des performances techniques du produit mais également les autres exigences si cela est nécessaire (résistance au feu par exemple pour un isolant) afin de disposer d'une ATEx (appréciation technique expérimentale).

Le diagnostiqueur vérifie la présence d'acteurs (recyclerie, matériauthèque) potentiellement intéressés par les isolants issus du réemploi.

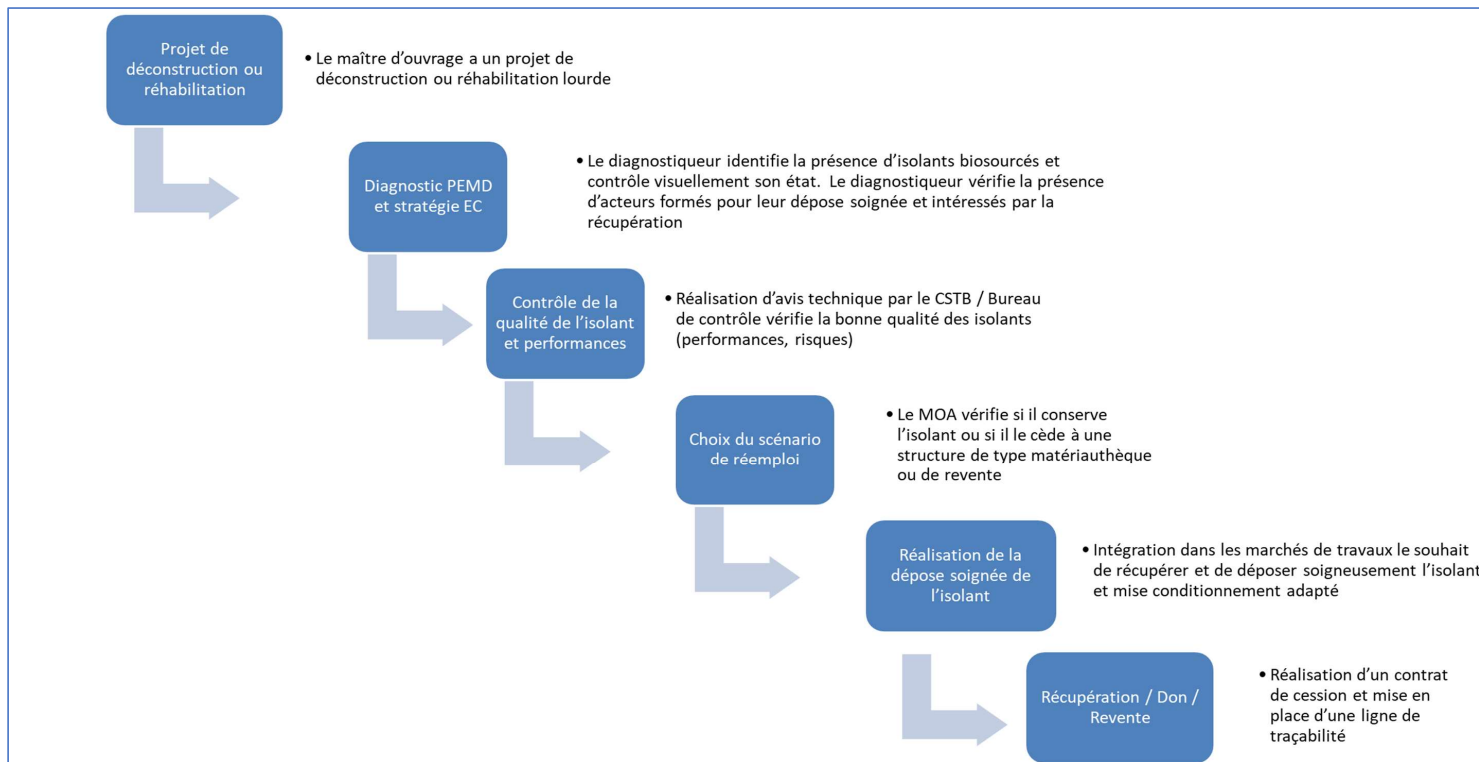


Figure 2 : Schéma d'organisation d'une filière de réemploi des isolants biosourcés – Source INDDIGO

4. Schéma classique des étapes d'acheminement des isolants en fin de vie vers la valorisation

Le schéma ci-après présente la description classique de la mise en œuvre d'une filière de la gestion des déchets du bâtiment en fin de vie. Ce schéma montre que les différentes étapes sont souvent nombreuses pour rejoindre une filière de traitement. Les étapes d'acheminement dépendent également de la taille du chantier.

Sur des chantiers de petites tailles, dont on peut définir le périmètre comme étant une maîtrise d'ouvrage de type ménage, l'artisan va déposer ses déchets sur un point de regroupement qui sera une déchèterie publique ou privée, un espace sur son site ou un distributeur de matériaux de construction, comme l'organisation à venir dépendant de la responsabilité élargie des producteurs semble l'entendre.

Les éléments sont expliqués ci-après :

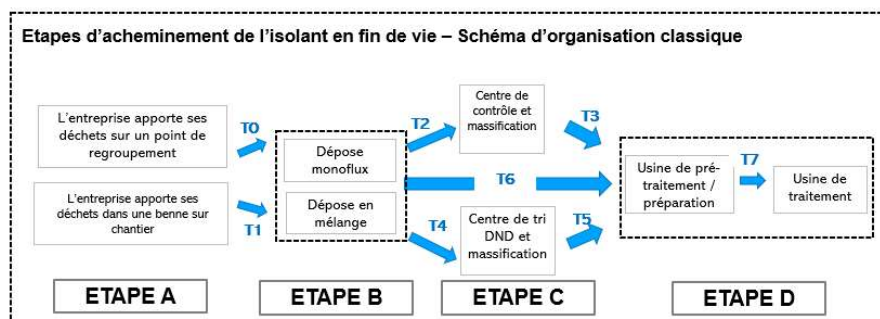


Figure 3 : Etapes d'acheminement des isolants en fin de vie selon un schéma d'organisation classique

L'étape A présente deux organisations possibles pour le regroupement des déchets par l'artisan ou l'entreprise. La première possibilité (A1) est la mise en œuvre d'un point de collecte sur le chantier. Dans ce cas, l'entreprise du bâtiment ou l'artisan n'a pas de transport à effectuer vers un centre de regroupement (T0). La seconde possibilité est l'absence de point de collecte sur le chantier (A2). Dans ce cas, l'entreprise du bâtiment ou l'artisan doit apporter ses déchets vers un point de regroupement (T2). Les points de regroupement sont portés actuellement en majorité sur une déchèterie. La déchèterie peut être une déchèterie publique portée par la collectivité, une déchèterie privée portée par un opérateur déchets ou enfin une déchèterie privée portée par un distributeur de matériaux de construction. D'après le futur décret d'organisation de la gestion des déchets du bâtiment, ce point de regroupement doit être situé **entre 10 km à 20 km maximum du lieu de production de déchets**.

L'étape B distingue deux organisations possibles pour la collecte du déchet. La première possibilité (B1) est une collecte en monoflux, c'est-à-dire séparée des autres déchets. La seconde possibilité (B2) est une collecte en mélange, c'est-à-dire mélangé avec d'autres déchets du chantier.

L'étape C dépend de l'étape B et distingue trois organisations possibles. Si la collecte a été en monoflux, les déchets pourront être envoyés directement vers un centre de contrôle et massification (C1). Dans ce cas, le transport aura lieu en amont du centre et en aval, indiqué par T2 et T3 sur le schéma ci-dessus.

Si la collecte a été en mélange, Les déchets seront envoyés vers un centre de tri pour séparer les déchets (C2). Dans ce cas, le transport aura lieu en amont du centre et en aval, indiqué par T4 et T5 sur le schéma ci-dessus.

Enfin, il est possible dans certains cas que les déchets soient envoyés directement vers le centre de pré-traitement ou de traitement (C3). Le transport est alors nommé T6.

Notons qu'il existe divers centres de tri dont les techniques sont plus ou moins mécanisées et innovantes :

- le centre de tri à la pelle où les déchets en mélange sont déposés au sol et un employé trie les déchets au grappin
- les centres de tri mécanisés où les déchets sont déposés sur un tapis roulant, une cabine de tri avec plusieurs trieurs trie les déchets en différentes catégories. Plusieurs équipements permettent de trier les fines et les lourds. Les métaux sont également triés mécaniquement. Les flux non triés sont ceux communément appelés refus de tri. En fonction de leur pouvoir calorifique, ils sont soit envoyés vers un centre de traitement avec valorisation énergétique, soit en enfouissement.

L'étape D est l'étape de pré-traitement et/ou de traitement du déchet en fin de vie. Il peut s'agir d'une filière de recyclage, de valorisation organique ou de valorisation énergétique par exemple. Pour atteindre cette dernière étape, le transport est schématisé par le nom T7.

5. Etude des scénarios en fin de vie de l'isolant Paille

5.1. Méthodologie

Les entretiens ont débuté à l'échelle de la filière paille pour obtenir une vision globale. Cet entretien a été réalisé avec Coralie Garcia (entretien 1) qui appartient au Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) et au Collectif des Filières Biosourcées du Bâtiment (CF2B). Puis, sur ses conseils des entretiens ont été réalisés auprès de deux experts de la construction en paille.

Il s'agit de :

- SCOP BatiNature, représentée par Mael Steck (MS), charpentier depuis une quinze années. Il a réalisé de nombreux voyages en Autriche et en Allemagne. Rencontre avec une entreprise de charpente traditionnelle, formation de charpentier. Il est aujourd'hui président de la SCOP, avec une vision écologiste et technique pour les matériaux.
- Coopérative Accort-Paille, représentée par Aymeric Pigent (AP), ingénieur et directeur technique d'ACCORT-Paille. Il est formateur reconnu Pro-Paille par le Réseau Français de la Construction en Paille (RFCP). Co-rédacteur de la dernière version des Règles professionnelles de la construction en paille CP2012 et du livre Construire en paille mode d'emploi : la technique du GREB. La technique du GREB est une méthode de construction en bottes de paille qui consiste à construire une double ossature légère en bois afin d'y installer les ballots et assurer le contreventement avec un mortier léger coulé en banchage.

5.2. Contexte du développement de la botte de paille

- Historique (extrait du rapport intermédiaire n°1)

En construction, la paille est anciennement utilisée en chaume pour la toiture et sous forme de torchis pour les murs. Avec l'invention de la presse à ballots de paille à la fin du XIXe siècle, les bottes de paille se sont développées et la première maison construite en bottes de paille a été identifiée dans le Nebraska aux Etats-Unis.

En France, la maison Feuillette, construite en 1921 en bottes de paille, est toujours en excellent état. Depuis, de nombreuses techniques se sont développées, avec une accélération à partir des années 1990, et la paille est à présent valorisable dans la construction sous différentes formes. Les techniques les plus répandues sont des techniques ossatures bois ou poteaux-poutres avec ossature secondaire rapportée. Les finitions extérieures sont de type enduit et bardage bois.

Contrairement aux autres filières, la filière de construction en bottes de paille est organisée autour des concepteurs et constructeurs et non pas autour des fabricants, car aucune étape de fabrication industrielle n'est requise. Ce matériau « devient » donc un produit lors de son utilisation et c'est le constructeur qui effectue directement le « contrôle qualité » du produit fini.

Au niveau national, le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP), créé en 2005, représente la filière bottes de paille. Cette association a pour but de réunir les différents acteurs de la construction paille : artisans, architectes, maîtres d'ouvrage, auto-constructeurs, formateurs et autres associations, et de stimuler le développement de la construction en paille en France.

- Marché actuel (extrait du rapport intermédiaire n°1)

En France, en 2011, la quantité de bottes en paille dédiées à la construction fluctuait entre 2 000 et 3 000 tonnes. En 2016, la part de la paille valorisée dans la construction reste faible : gisement de 1,7 millions de tonnes par an et production de 4 600 tonnes de bottes de paille pour la construction (Estimation du RFCP) par rapport à la production totale de paille au niveau national : volume théorique 24,5 millions de tonnes par an en 2013-2014 (FranceAgriMer - Visionet - 2013/2014).

Selon les estimations du RFCP, la mise en œuvre des bottes de paille pour remplissage des ossatures porteuses est l'usage le plus fréquent (48 %). L'utilisation de la paille comme support d'enduits (18 %), ainsi qu'en remplissage d'ossatures secondaires non-porteuses (10 %) est un marché considérable. Les caissons préfabriqués remplis de paille (16 %) se développent fortement depuis 5 ans environ, notamment sur les marchés publics, afin de réduire les délais de mise en œuvre et les nuisances chantiers. La mise en œuvre de bottes porteuses (3 %) et de paille porteuse (1 %) reste un marché de niche (source : Etude Nomadés par Dutreix et al., 2017).

- Positionnement des entreprises interrogées

A partir des données recensées à l'échelle nationale par le réseau de la région Normandie, le schéma suivant représente l'évolution chronologique des tendances de l'évolution des systèmes constructifs en paille pour identifier le contexte de la construction en paille des entreprises sélectionnées.

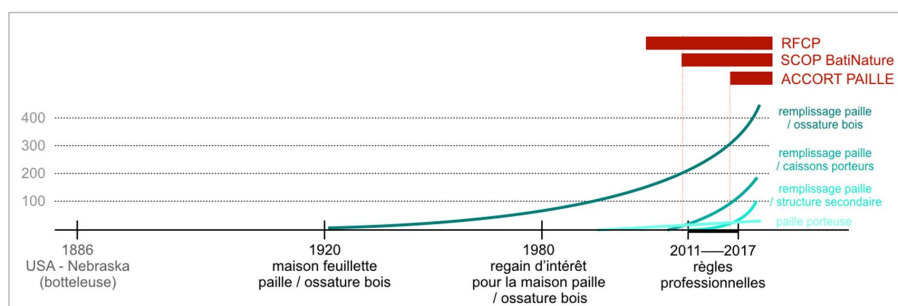


Figure 4 : Evolution des tendances de la construction en paille

Les entretiens ont mis en avant l'importance des règles professionnelles de construction en paille qui a eu un fort impact pour le développement de la filière. Le RFCP a été créé en 2005 et la SCOP BatiNature en 2011.

Rédigées par le RFCP, les Règles professionnelles de construction en paille CP2012 – remplissage isolant et support d'enduit – constituent le cadre de référence pour l'utilisation du matériau paille comme isolant et support d'enduit. Ces Règles Professionnelles ont été approuvées le 28 juin 2011 par la C2P (Commission Prévention Produit), organe de l'AQC (Agence Qualité Construction). Janvier 2017 : après avoir fait l'objet d'un suivi d'expérience pendant 4 ans, les Règles professionnelles sont maintenant acceptées par la C2P sans suivi du retour d'expérience.¹

Accort-Paille est né en 2016 sous la forme d'une association loi 1901 qui préfigure la création de la coopérative en 2018. Son évolution est représentative de l'intérêt du produit et du rapide développement de la construction en paille ces dernières années, comme le montre le tableau ci-dessous.

	Chiffre d'affaire	Nombre de salariés
2018	35 000	1
2019	200 000	3
2020	350 000	10

Tableau 3 : Evolution du marché de Accort-Paille

5.2.1. Techniques de mise en œuvre

La paille est un matériau de construction essentiellement mis en œuvre en construction neuve (à 85 %) couvert et décrit par les règles professionnelles de construction en paille validées par la C2P (Commission Prévention Produit) en 2012. Ce matériau peut aussi être utilisé dans des surélévation, extension et en ITE (Isolation Thermique par l'Extérieur). L'utilisation de la paille en rénovation commence à se développer, bien que des règles professionnelles dédiées ne soient pas encore publiées.

Le domaine d'application de la paille inclue tous les types de bâtiments (maisons individuelles, logements collectifs, Etablissements Recevant du Public (ERP), tertiaire, agricoles, industriels, etc.).

Le matériau paille peut se présenter sous différentes formes, telles que :

- Bottes de paille utilisables pour :
 - Le remplissage d'une structure ou ossature porteuse en bois
 - La construction de murs porteurs
- Torchis, qui est un remplissage relativement lourd de terre et de paille (masse volumique supérieure à 1000 kg/m³).
- Mélange terre-paille allégée (300 à 1 000 kg/m³) :
- Remplissage des banches, éléments de coffrage communément réalisés en bois (ossatures secondaires non-porteuses)
- Support d'enduits isolant

¹ <https://www.rfcp.fr/les-regles-professionnelles/>

- Panneaux de paille compressée : Fabrication de cloisons d'intérieur ou de doublage, des faux-plafonds, murs et sols (en substitution au Placoplâtre).

Le tableau ci-dessous répertorie l'importance donnée aux systèmes constructifs selon les 3 entretiens et les pourcentages de bâtiments existants en France relevés par le réseau construction paille en Normandie.

Systèmes constructifs	RFCP	SCOP BatiNature	ACCORT PAILLE	% de bâtiments	Légende
En remplissage	X X X	X X X	X X X	59 %	
En caissons	X X X	X X X	X X X	23 %	
ITE				13%	XXX : très abordé
Elément structurel	X		X	5 %	XX : abordé
Paille en vrac	XX	X	XX	-	X : peu abordé
greb	X		X	-	
Paille broyée insufflée	X				X : procédé en
Matelas de paille tressée	X				cours de
Paille de riz (Camargue)	X				développement

Tableau 4 : Répartition des systèmes constructifs selon les entretiens et la représentativité à l'échelle nationale

D'après les travaux de recensement de bâtiments construits avec de la paille en France, il existe une corrélation avec les données du tableau :

- Deux systèmes constructifs sont largement ressortis lors des échanges. Il s'agit de l'ossature bois porteur / remplissage paille, qui représente 59 % des bâtiment en paille et des caissons porteurs / remplissage paille, qui représente 23 % des bâtiment en paille
- l'ITE (très proche de la mise en œuvre de l'ossature bois porteur / remplissage paille pour l'analyse de la fin de vie) représente 13 % des bâtiments en paille. Enfin, la paille porteuse représente 5 % des bâtiments en paille existants.

Les entretiens mettent en avant 2 systèmes constructifs selon les logiques de déposes :

- La première peut être qualifiée de « voie humide » car elle pose la question de l'enduit, elle comprend le système constructif « ossature-remplissage », l'ITE (ossature bois autoporteuse – remplissage paille), et la paille porteuse qui est elle aussi enduite sur la paroi extérieure et intérieure.
- La seconde correspond à une « voie sèche » où l'on retrouve la paille à son état d'origine. Cela se rapproche de la solution constructive de caisson-remplissage ou encore de la paille en vrac.

5.2.2. Scénario actuel FDES

En France, les bâtiments construits en paille, ainsi que la plus ancienne « maison Feuillette », ont été continuellement habités. La durabilité de ce système constructif est donc démontrée.

Sachant que :

- Le démontage de parois en bottes de paille se traduit par la production d'un volume important de paille saine en vrac.
- Le reconditionnement de paille de chantier pour en refaire des bottes de paille ne présente quasiment aucun intérêt technique ou économique.
- La paille en vrac est facile à réemployer dans l'agriculture, le maraichage, les jardins, les parcs.

Dans la FDES « Remplissage isolant en bottes de paille » 2015 par RFCP, la destination retenue pour les déchets de paille est similaire à la gestion française moyenne de la fin de vie des matériaux de construction en bois. Cela signifie que, une 2^{ème} vie n'étant pas prévue pour la paille, les 2 scénarios de fin vie de l'isolant paille sont :

- 59,6 % vers une usine d'incinération, soit 21,83 kg de paille/UF (UF : Unité fonctionnelle est définie comme étant l'isolation répartie de 1 m² de mur en paille non porteuse avec une résistance thermique de 7,1 m².K/W pour une épaisseur du mur de paille de 37 cm, selon les règles professionnelles de construction en paille (CP 2012), pour une durée de vie de référence de 50 ans). La paille possède un pouvoir calorifique élevé, d'où la valorisation énergétique de ce matériau (PCI = 16,51 MJ/kg MS = 12,72 MJ/kg à 20 % RH et PCS = 18,79 MJ/kg de MS).
- 40,4 % vers une installation de Stockage de Déchets Non Dangereux, soit 14,80 kg de paille/UF.

5.2.3. Leviers et freins pour les scénarios en fin de vie

Les filières comme le réemploi, la réutilisation, le recyclage et la valorisation énergétique sont des solutions envisageables.

Freins	Leviers
Manque de moyen pour réaliser des études plus poussées pour chaque paramètre. À l'heure actuelle, la rédaction de FDES ne remporte pas un grand engouement auprès des formations des professionnels.	Peut-être que la future réglementation sera un levier pour développer et rendre accessible la rédaction des FDES. (CG)
Développer une étude plus approfondie de la filière en amont (paille bio / paille conventionnelle) pour intégrer le type d'agriculture	Prendre en compte la posture agricole (production biologique)
Analyses qui prêtent à confusion (laine de mouton / laine minérale) suite à des études qui ont démontré des laines minérales plus vertueuses que la laine de mouton.	Une approche plus juste de la réalité (MS) avec des estimations des FDES en adéquation avec le bon sens.

Tableau 5: Leviers et freins concernant les scénarios de fin de vie pour la Paille

5.3. Réalisation des entretiens

5.3.1. Retours d'expériences de la dépose sélective

Les entretiens sont unanimes sur le peu de nombre d'opérations de dépose pour le matériau paille. Quelques expériences isolées :

- une colonie de vacances construite en 1950 et vacante depuis plusieurs années a révélé l'utilisation de paille dans des poteaux en béton. La paille était en parfait état. (CG)
- une rénovation de maison de 1920, avec la réalisation d'extension, où des opérations de décroustage d'enduit ont été réalisées. (CG)
- Seules des réparations lorsqu'il y a des fuites d'eau en toiture qui traversent les murs. (AP)

5.3.2. Contraintes sur chantier de déconstruction

Pour les opérations de dépose pour la construction paille, il faut distinguer les systèmes constructifs selon leur appartenance à la « voie sèche » ou « voie humide ». Les tableaux suivants relèvent les commentaires sur la dépose sélective lors des entretiens.

Voie humide	Voie sèche
Pour la paille support d'enduit, prévoir un décroustage + nettoyage.	la filière sèche (paille compressée dans des caissons en bois) toit sec et mur, des systèmes constructifs en paille.
Pour la paille avec enduit, l'opération est plus compliquée car il faut décrouster l'enduit.	Pour la filière sèche, le caisson est facile à enlever , puis on retrouve les bottes de paille à l'intérieur
Si c'est une dépose pour une extension mieux vaut utiliser une scie circulaire. Il est possible aussi d'utiliser une masse pour décrouster l'enduit mais c'est plus fastidieux. Entre la couche d'accroche et l'enduit il peut y avoir un grillage. L'ensemble se désolidariserait des bottes de paille.	Pour les caissons, la botte est intégrée dans le mur. Il suffit de dégraffer le panneau et on a la botte de paille (fixation par clavage). Il n'y a pas de ficelle .
Suite à un retour d'expérience malheureux (enduit terre extérieur), on a pu constater que l'enduit s'est décollé sous forme de plaque selon la trame de la mise en œuvre.	Pour les caissons pas de difficultés pour les modalités techniques. Cela représente 90 à 95 % des systèmes constructifs en paille en France. La pose d'un enduit reste occasionnelle. Il faut dégraffer les panneaux de bois (lamellé, 3 plis, etc.) d'un côté pour extraire la paille.
Pour le démontage de l'ossature bois, quelques outils sont nécessaires : scie circulaire, pied de biche, pince à décoffrer.	
Main d'œuvre importante.	

Tableau 6: Dépose sélective selon les systèmes constructifs

5.3.3. Modalités techniques de dépose sélective

Lors du démontage :

- le temps : il faut plus de temps pour le démontage que le montage.
- Poussière qui a pu s'accumuler sur la paille
- si les ficèles cèdent, la paille devient difficile à manipuler

Lors du stockage / transport :

- le volume : La question du volume est récurrente, elle se pose aussi pour la construction en chaume, ou l'excédent de matière première lors de la pose représente un volume important à transporter.
- Poussière qui s'installe
- Stocker au sec (humidité)

La dépose sélective de la paille nécessitera d'informer sur les techniques afin d'amener une solution alternative qui serait de broyer à l'aide d'une grosse machine puis enfouir la matière ou l'utiliser pour l'énergie.

A noter, quelques expériences avec les chutes de panneaux qui sont valorisés par la ressourcerie verte (Isère) où les résidus paille sont déposés en libre-service pour le paillage.

5.3.4. Modes de valorisation

5.3.4.1. Usage de la paille en fin de vie

Les pratiques actuelles montrent que les bottes de paille en fin de vie sont récupérées pour des usages en agriculture (paillage) et s'effectuent à petite échelle. Il existe les habitudes, comme :

- les utiliser comme paillage pour un potager ou maraichage,
- ou pour les champs.

Le festival de Bellasstock a réalisé, il y a quelques années, un workshop éphémère avec des étudiants, où les bottes de paille ont été récupérées par les agriculteurs (« retour à l'expéditeur »).

Les constructeurs ont des filières d'évacuation implicites (les employés les récupèrent pour les poulaillers, jardins, etc.). Il existe parfois des partenariats avec des structures ou entreprises d'entretiens d'espaces verts, les maraichers, les clubs des centres équestres, etc. Il faut éviter que la paille soit mélangée en benne et envoyée vers des filières classiques.

Lors des entretiens, la question du réemploi n'est pas ressortie comme pertinente. La botte de paille a subi un tassement, l'idéal serait alors de défaire les bottes de paille et de les rebotteler, ce qui permet aussi de proposer de nouveaux dimensionnements des bottes pour s'adapter à d'autres types de systèmes constructifs (petites bottes porteuses, grandes bottes porteuses, ITE, etc.). L'autre frein au réemploi est que la ressource en paille est importante. Il y a donc peu de pression sur la ressource.

Pour la valorisation en matière première, cette piste fonctionne à toute petite échelle de manière anecdotique. L'outillage nécessaire (rebottleuse, lieu de stockage, etc.) ne paraît pas en adéquation avec la création de filière d'envergure.

Voie humide	Voie sèche	Filières
Pas de problème pour remettre la paille dans les champs	Remettre dans les champs, amendement (autour du chantier)	Agriculture / maraichers
Pour la paille/énergie attention à la terre.	Pour la paille/énergie	Chaudière à paille La silice a un effet de vitrification qui peut endommager le système / pouvoir calorifique de la paille ² .
Broyer pour obtenir de la paille soufflée		Matière 1ere : paille broyée
Autre piste, réintégrer la paille pour les enduits (fibrage).		Matière 1ere : fibres pour les enduits
	Isolant vrac	Matière 1ere : isolation en vrac
	Botteleuse sur place pour faciliter le transport (format transformable)	Matière 1ere : isolation en botte

Tableau 7: Modes de valorisation privilégiés selon les systèmes constructifs

² Ce qu'il faut éviter c'est la valorisation énergétique / combustion. Une étude démontre qu'il était préférable d'isoler les bâtiments pendant 50 ans que d'utiliser la paille énergie (combustion).

5.3.4.2. Contraintes techniques

Pour développer ces pratiques il faudrait des liens plus étroits avec les agriculteurs. Par exemple des réserves pour de la paille broyée (circuit fermé). Cela sous-entend le stockage d'une grande quantité de matière.

En résumé, il semble peu pertinent de refaire de l'isolant à partir des anciennes bottes au vue de la déformation des bottes et le peu d'utilité par rapport à l'abondance de la ressource.

- De plus, elle est difficile à transporter (gros volume / quantité)
- Il y a un risque de dégât des eaux, avec 10 à 20 m³ de paille à gérer.
- Trop de temps à affecter pour refaire des bottes de paille ce qui rend le scénario économiquement peu réaliste.

5.3.5. Evolutions de la filière botte de paille

Les acteurs de la filière paille (RFCP, AccortPaille) souhaitent construire des UTSA³ (Unités Territoriales Sécurité Approvisionnement ou hangar à paille) à l'échelle régionale ou départementale. L'objectif est de pouvoir stocker une quantité importante de matière première afin de pouvoir livrer sur les chantiers les bottes de pailles à toutes les saisons (indépendamment des cycles des récoltes).

Les évolutions de la SCOP BatiNature s'orientent vers une affaire de compromis :

- ce qu'on veut / ce qu'on peut (règles du marché)
- pour les caissons les panneaux industriels pour le contreventement, panneau bruts aux panneaux transformés (transports, etc.) mais moins cher.
- La filière bois : assemblage/collage = déchet chimique (colle)
- Marché / réglementation / écologie : système classique concurrence à 15 à 20 % moins cher.

Accort-Paille est lauréat régional de la bioéconomie (1,5 million d'euros) qui va permettre de réaliser une opération pilote en Région Centre. L'étape suivante est de dynamiser la filière paille avec du lowtech. L'objectif est de faciliter la montée en puissance de la filière, avec l'accès aux matériaux du territoire (UTSA). Il s'agit de stocker les bottes de paille (quelques soit leur format) et de les recomposer pour le bâtiment (refaire les formats) :

- botte standard : entre axe de 50 cm (or dans l'ossature bois c'est 60cm) donc plus de découpes, plus de temps de travail. Avec des bottes mieux dimensionnées : cela serait encore moins cher et plus accessible pour les charpentiers (table automatisée)
- épaisseur de 36 cm / pas standard de l'ossature bois. Avec un format de 22 cm cela permet de développer l'ITE (milieu urbain dense y compris)

Les entretiens ont permis de lister quelques réflexions sur les dispositifs à mettre en œuvre pour développer la valorisation de la botte de paille ?

- Développer la réutilisation de la paille grâce à la mise en place d'un dispositif simple et facile de type plateforme numérique d'offre et de besoin (exemple : Leboncoin). L'objectif serait de la mettre à disposition (don). Ainsi, chacun pourrait bénéficier gratuitement de la paille pour les potagers, champs, etc.
- Identifier des leviers économiques et sociaux en passant la TVA de 20 % à 5 %, pour initier le développement de projets à l'échelle des régions et ainsi limiter le transport de l'énergie grise et de l'impact du travail humain (valoriser)
- Mutualiser les équipements et monter en compétence les métiers en intégrant la mutualisation des engins (grues, etc.) avec de la location.
- S'investir dans la rénovation du bâti et développer les techniques pour le bâti ancien.

³ <https://www.lesechoslogiques.fr/post/interview-l-isolation-en-paille-avec-jean-baptiste-thevard>

5.4. Bilan et principaux résultats

À partir de l'analyse des enquêtes, cette partie est l'approfondissement de deux approches :

- la première a pour objectif d'identifier les étapes de la déconstruction pour évaluer la difficulté de mise en œuvre de la déconstruction. Il s'agit de décrire les actions pour chaque étape, de noter les outils nécessaires et d'estimer la pénibilité de ces travaux.
- La seconde partie aborde les domaines d'emploi de la valorisation des fins de vie des matériaux en botte de paille. Il s'agit d'évaluer et d'identifier les acteurs, les conditions et les nouvelles utilisations.

Pour cela, l'étude se positionne sur les deux voies identifiées lors des entretiens en lien avec les systèmes constructifs en paille avec :

- pour la voie humide : ossature remplissage botte de paille
- pour la voie sèche : caisson remplissage botte de paille

Selon les types de revêtements (enduit ou bardage) les systèmes constructifs appartiennent à l'une des deux voies. Ce système peut se décliner et s'affiner suivant le principe décrit dans le schéma suivant :

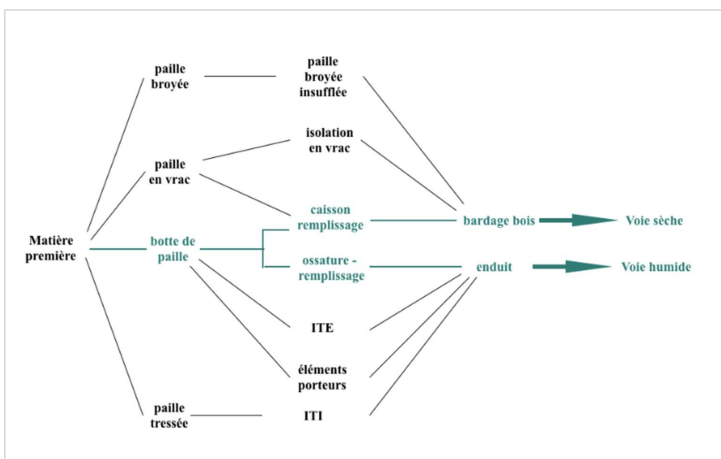


Figure 5 : Schéma de principe des systèmes constructifs selon la voie sèche et voie humide

Pour l'évaluation de la complexité des opérations de dépose, les critères sont :

- l'équipement / outillage
- travail physique / pénibilité
- durée de la déconstruction
- difficulté technique

Chacun d'entre eux sont définis sur 4 niveaux (1,2,3,4) selon les éléments présentés dans le tableau suivant :

Faisabilité de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage	Outillage classique / dans une boîte à outils	Outillage utilisé par les professionnels	Outillage demandant des qualifications spécifiques	Outillage d'expert
Effort physique / pénibilité	Légère Manutention	Transport de charge	Manutention et transport de charge	Equipe d'expert
Durée par rapport à une dépose classique	Même durée que la mise en oeuvre	2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 4 fois plus que la mise en oeuvre
Difficulté technique	Connaissance en bricolage	Connaissance technique	Qualification requise	Qualification experte

Tableau 8 : Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose

5.4.1. Dépose ossature bois remplissage botte de paille

5.4.1.1. Techniques de dépose sélective

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose, les moyens nécessaires et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Décrouter l'enduit	- burin - maillet - prévoir sac et brouette	- humaine	- travail physique / pénibilité - travail long
Action 2 : Extraire les bottes de paille	- manuellement	- humaine	- travail physique (lourd + désolidarisation des bottes difficile) - travail long - ne pas détacher les ficelles (délicat)

Tableau 9 : techniques de dépose du vrac recyclé

5.4.1.2. Evaluation de la complexité de la dépose selon les techniques

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Équipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 10 : Evaluation de la complexité de la dépose sélective

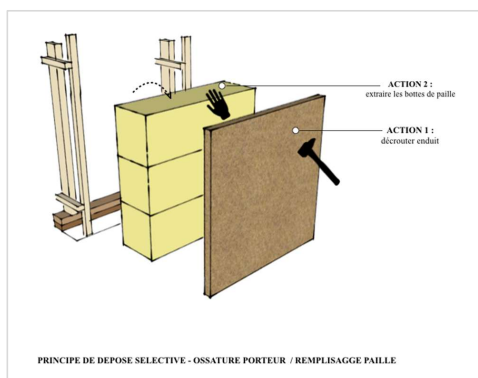


Figure 6 : Schéma de principe de la dépose sélective de la paille en ossature bois

5.4.2. Dépose de caissons porteurs – remplissage botte de paille

5.4.2.1. Techniques de dépose sélective en panneau ou en rouleau

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose des isolants sous forme de panneaux ou rouleaux, les moyens nécessaire et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Décrouter l'enduit	<ul style="list-style-type: none"> Extracteur d'agrafes 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	
Action 2 : Extraire les bottes de paille	<ul style="list-style-type: none"> Manuellement Envisagé mécaniquement ? 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> Travail physique (lourd)

Tableau 11 : techniques de la dépose sélective

5.4.2.2. Evaluation des techniques

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective du panneau ou rouleau par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Équipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 12 : Evaluation de la complexité de la dépose

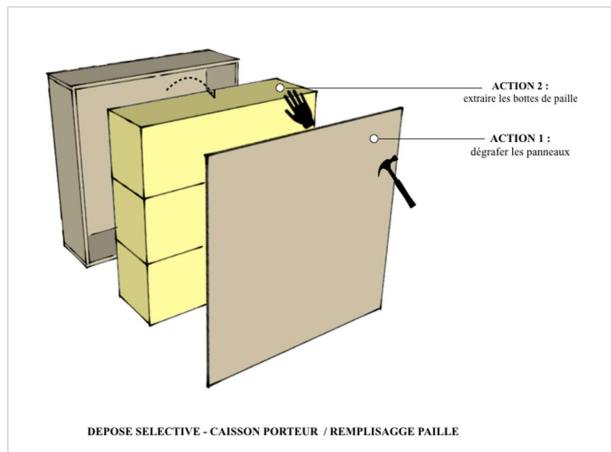


Figure 7 : Schéma de principe de la dépose sélective de la paille en caisson porteur

Les scénarios pour la valorisation de fin de vie s'orientent vers deux domaines d'emploi :

- l'agriculture, épandage de la paille pour certains sols (enrichir des terres pauvres)
- l'industrie avec la méthanisation, la paille a un bon pouvoir méthanogène et une granulométrie adaptée à la méthanisation, ou la valorisation énergétique.

Ci-dessous, le schéma représente les domaines d'emploi potentiels pour valoriser la fin de vie des bottes de paille.

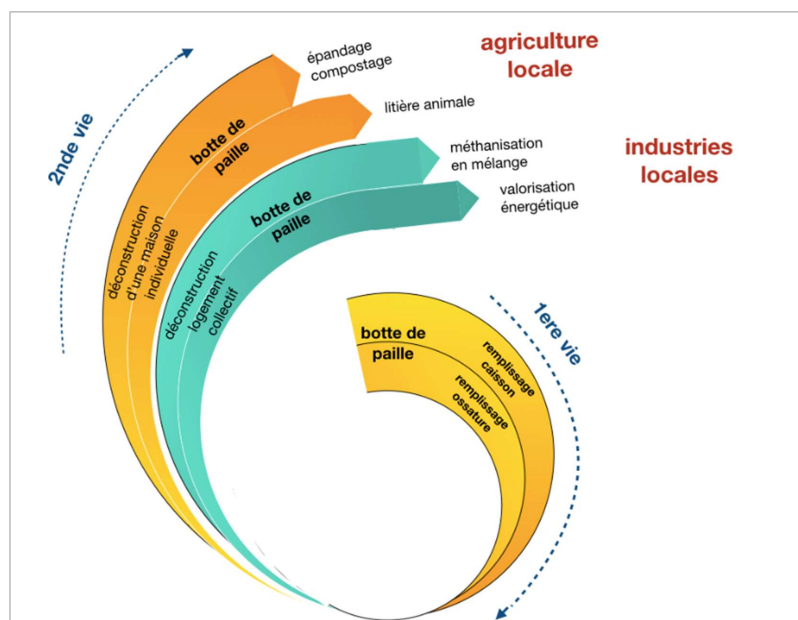


Figure 8 : Description des filières de traitement potentielles en fin de vie de la botte de paille

5.4.3. Modes de valorisation

Le chapitre sur la paille montre qu'un schéma d'organisation spécifique pour les isolants à base de paille peut être mis en œuvre. Ces isolants biosourcés font partie des isolants à base de matériaux bruts. Les possibilités de scénarios en fin de vie montrent que **la mise en œuvre d'une gestion locale en circuit court est un des scénarios qui serait les plus intéressants à mettre en œuvre.**

Ces scénarios permettraient de limiter les étapes d'acheminement ce qui permet de diminuer l'impact lié aux transports. Sur le traitement, les scénarios permettent de retrouver de nouvelles utilités aux matériaux récupérés et éviter la valorisation énergétique et l'élimination.

Les différents scénarios dépendent de la taille du chantier et de la maîtrise d'ouvrage. Ils dépendent également de la qualité du matériau que l'on retrouve lors de la déconstruction.

Concernant le transport, dans le cas d'un chantier dont le MOA est un ménage, l'entreprise possède en général un petit véhicule de type Camion-benne de PTAC de 3,5 t.

Concernant le transport, dans le cas d'un chantier dont le MOA n'est pas un ménage et la taille du chantier est plus importante, le transport pourra s'organiser sur un camion de type ampliroll avec remorque si besoin dans une benne de 35 m³.

D'après les données fournies dans le cadre des fiches techniques des matériaux, une botte de paille pèse environ 11 kg. Ses dimensions sont les suivantes : hauteur : 55 cm, largeur : 46 cm et épaisseur : 36 cm. On peut donc conditionner 4 bottes par m². Sur une palette d'une longueur d'1,20 m, on peut conditionner 28 bottes, soit 300 kg.

À dire d'expert, la paille se composte difficilement seule car elle contient une part de lignine conséquente, environ 20 % de la matière sèche. Elle peut servir d'excellent co-produit pour co-composter boues, lisier ou biodéchets. En méthanisation, il faut des temps de séjour longs pour qu'elle ait le temps d'être un digérée. Les temps de séjours dépassent 50 jours et jusqu'à 80 jours de temps de séjour pour la valoriser. Un hachage préalable permet d'augmenter la biodisponibilité.

Des systèmes de préparation permettent d'avoir plus de matière organique disponible pour la digestion. Les dispositifs suivants par exemple permettent de défibrer de façon intensive les substrats et homogénéise les différentes matières organiques. En conséquence, cela permet de rendre la matière plus accessible aux bactéries et augmente la production de Biogaz.

- Le système BIOCRAACK II, proposé par Vogelsang
- Le système Bio-préparateur TQZ, proposé par Verde Energy

Le schéma ci-après décrit l'acheminement des isolants en fin de vie, type botte de paille, selon le schéma classique de la gestion des déchets du chantier vers la filière de traitement. Les scénarios envisagés pour la valorisation en fin de vie des isolants sont les suivants :

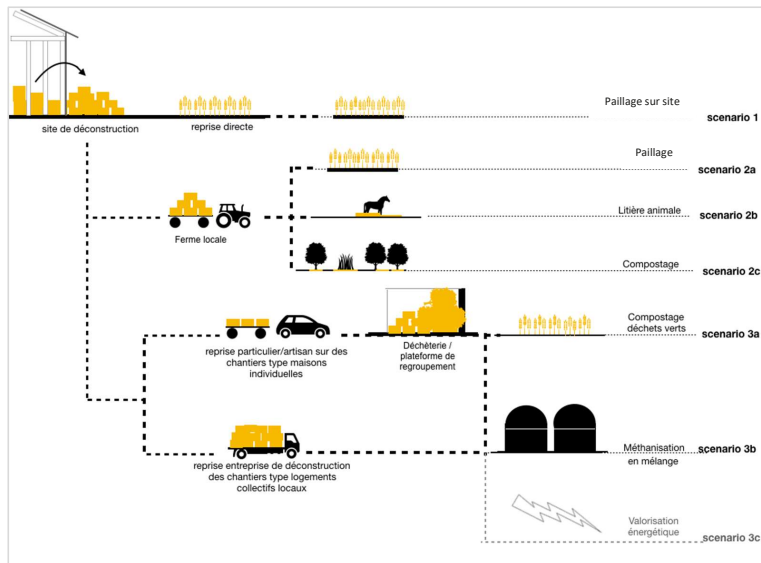


Figure 9 : Description des scénarios potentiels en fin de vie de l'isolant à base de paille

5.4.3.1. Description de la filière après la dépose

Sur un chantier type maison individuelle plutôt de petite taille dont la maîtrise d'ouvrage est un ménage, il sera possible :

- en cas de présence d'espaces verts, de mettre en tas la paille déposée sélectivement si la place le permet. Après quelques semaines, la paille sera légèrement dégradée et il sera possible de disséminer la paille sur les espaces verts pour épandage. La paille se manipulera assez facilement à la main. Ce scénario permet d'éviter le transport et le traitement en filière.
- Il n'y a pas de coût de transport, ni de traitement.
- en cas d'absence d'espaces verts, la paille pourra être apportée sur une déchèterie ou une plateforme de regroupement et mise en mélange avec les déchets verts pour un envoi vers une filière de compostage. Ce scénario engendre des coûts liés :
 - à l'apport des déchets vers le point de regroupement, souvent dans un véhicule de PTAC inférieur à 3,5 t,
 - à l'acheminement vers le site de traitement en transport amplioroll
 - au traitement sur la plateforme de compostage ou en méthanisation.

Sur un chantier type habitations ou locaux collectifs, de taille plus importante, il sera possible :

- d'organiser la reprise par un agriculteur local. L'agriculteur pourra mettre en place en amont de la dépose une remorque spécifique pour récupérer les bottes. Ce scénario engendre des coûts de transport liés :
 - à l'apport des déchets vers la ferme locale
- d'organiser la reprise par l'entreprise de déconstruction pour un envoi vers une filière de compostage ou de méthanisation. Ce scénario engendre des coûts de transport liés à l'apport des déchets vers un centre de regroupement puis vers un centre de traitement et des coûts liés au traitement sur la plateforme de compostage ou en méthanisation
 - à l'apport des déchets vers un centre de regroupement,
 - à l'acheminement vers le site de traitement en transport en camion amplioroll par exemple
 - au traitement sur la plateforme de compostage ou en méthanisation.

À partir des schémas techniques définis ci-dessus, le tableau présente une comparaison des scénarios suivant le critère économique qui dépend du transport et de la filière de traitement :

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario sans recommandation
Reprise sur site : paillage	Reprise par un agriculteur local et paillage	Apport en déchèterie et benne déchets verts	Apport direct vers plateforme compostage/méthanisation ou passage en centre de regroupement	En mélange et élimination
Coût Faible	Coût Faible	Coût Moyen	Coût Moyen +	Coût élevé

Dans les tableaux ci-après nous mesurons la faisabilité des scénarios à partir de différents critères. Nous avons établi plusieurs critères qui peuvent impacter la mise en œuvre du scénario. Nous avons évalué chaque critère grâce à un code couleur de 4 niveaux qui permet d'établir la faisabilité et la mise en œuvre du scénario. Le code couleur est présenté ci-après

Légende	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Vigilance	Avantageux

5.4.3.2. Scénario « Reprise locale » pour paillage ou litière animale (Sc. 1, 2a et 2b et 2c)

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> Maitres d'ouvrage / maître d'œuvre Entreprises de déconstruction, tri agriculteurs locaux gestionnaires d'espaces verts 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faible contrainte dans le cas d'une pose en voie sèche Contrainte plus importante en pose par voie humide 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite d'avoir des besoins à proximité du chantier de déconstruction 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Faible 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Paillage, litière animale, co-compostage 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Paillage : Pratique courante Nombreux acteurs potentiellement intéressés 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Volume de la paille à transporter Présence d'un agriculteur local intéressé par la récupération de la paille 	
Pertinence du scénario / recommandations	Ce scénario semble le scénario à privilégier selon les experts	

Tableau 13 : Faisabilité du scénario « Reprise local » pour paillage ou litière animale

5.4.3.3. Scénario 3a : plateforme de compostage

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Particuliers / artisans • Opérateurs de gestion de plateforme de compostage • Collectivités 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • La dépose sélective demande un décroustage lors d'une pose en voie humide • Pas de problématique en voie sèche 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Terres proches du chantier de déconstruction 	
Transformation/consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Faible 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation de compost 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreuses plateformes de compostage en France et en développement avec la réglementation qui pousse à une meilleure gestion des biodéchets 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • À dire d'expert, la paille se composte difficilement seule car elle contient une part de lignine conséquente, environ 20% de la matière sèche. Elle peut servir d'excellent co-produit pour co-composter boues, lisier ou biodéchets. 	
Pertinence du scénario / recommandations	Ce scénario est envisageable.	

Tableau 14 : Faisabilité du scénario « compostage »

5.4.3.4. Scénario 3b et 3c (Méthanisation / valorisation énergétique)

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Entreprise de déconstruction • Opérateurs de méthanisation • Opérateurs de gestion des déchets 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Faible contrainte dans le cas d'une pose en voie sèche • Contrainte plus importante en pose par voie humide 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Unités proches du chantier de déconstruction 	
Transformation/consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Non défini 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe un réseau dense d'installations de compostage et de méthanisation, sur l'ensemble des régions françaises. D'après les données issues de la plateforme SINOE déchets, 747 plateformes de compostage et 36 installations de méthanisation sont recensées. • Emploi de la paille pour la méthanisation / valorisation énergétique en plein essor. 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau d'installations déjà présents en France et en développement avec la réglementation qui pousse à une meilleure gestion des biodéchets 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • À dire d'expert, la paille se composte difficilement seule car elle contient une part de lignine conséquente, environ 20% de la matière sèche. Elle peut servir d'excellent co-produit pour co-composter boues, lisier ou biodéchets. En méthanisation, il faut des temps de séjour longs pour qu'elle ait le temps d'être digérée. Les temps de séjours dépassent 50 jours et jusqu'à 80 jours de temps de séjour pour la valoriser. Un hachage préalable permet d'augmenter la biodisponibilité. 	
Pertinence du scénario / recommandations	Envisageable dans le cas où il n'y a pas de filière de compostage de proximité ou d'agriculteur local intéressé par la matière qui a été recensé	

Tableau 15 : Faisabilité du scénario « méthanisation / valorisation énergétique

5.5. Conclusions

Les techniques de dépose sélective de la paille dépendent de leur pose initiale. On observe deux modes principaux : pose en ossature bois et pose en caisson-porteur. La dépose sélective ne demande pas de qualification forte. Le démantèlement du système constructif est assez facile. La difficulté est lorsque l'enduit a été directement posé sur la paille. Un décrouitage est alors nécessaire. Manuellement, cette tâche a été identifiée comme assez pénible.

Plusieurs scénarios alternatifs à l'élimination ont été proposés. L'épandage est le scénario majoritaire. Ce scénario demande une organisation territoriale avec les acteurs du territoire (maraîchers, gestionnaires d'espaces verts, agriculteurs) pour récupérer la paille propre. La paille peut être compostée dans certaines situations en co-compostage. Son hachage en amont sera privilégié.

Ces scénarios feront l'objet d'études pour mieux connaître l'impact sur l'analyse du cycle de vie des isolants. Les modélisations pourront évaluer différents scénarios de fin des matériaux biosourcés dès les phases initiales de projets architecturaux. Par ailleurs, ce travail développe une approche de sensibilisation pour la déconstruction qui donne un nouveau regard sur la conception, le choix des systèmes constructifs et leurs impacts à long terme. Il interroge les potentialités de la filière matériau en paille vers de bonnes pratiques en termes d'éco-conception en vue d'une valorisation en fin de vie.

6. Etude des scénarios en fin de vie de l'isolant à base de chanvre

6.1. Méthodologie

Les entretiens ont débuté à l'échelle de la filière chanvre :

- Interchanvre : Nathalie Fichaux (directrice Interchanvre) nous a aiguillé vers deux spécialistes :
 - Mathis Rager : il a une formation DSA (Diplôme scientifique et d'approfondissement en Architecture) et Maîtrise d'ouvrage, organisée en post-master par l'ENSA Paris-Belleville. Depuis, il est conducteur de travaux sur des chantiers exclusivement réalisés en matériaux biosourcés et géosourcés (bois, terre et paille), son habilitation à exercer la maîtrise d'œuvre en son nom propre et son diplôme d'architecte obtenu à l'ENSA Paris-Malaquais l'aident quotidiennement à travers le pilotage des chantiers. Mathis Rager a travaillé au sein d'APIJ BAT Coopérative, de l'Atelier Georges, de Search and Creative Alternative Uses (SCAU), de Local Architecture Network (LAN) Architecture, des Ateliers Lion associés et de Phileas. Il est membre du collectif Anatomies d'Architecture (10 mois)
 - Guillaume Delannoy réalise des études de marché et d'industrialisation de la filière Chanvre et, accompagne les évaluations techniques. (CODEM BATLAB). Il est chargé du développement des matériaux de construction écologiques. Après mes études en génie chimique à l'ESCOM, doctorat à l'IFSTTAR
- Ecopertica avec Antoine Elleuame : Gérant de la coopérative - Expert éco-construction - Filière chanvre. Il a fait un BTS gestion protection de la nature en 2002 avec une spécialisation sur la biodiversité. Il réalise du conseil en agriculture / énergie / production énergétique au PNR du Perche pour le diagnostic planète. Il travaille sur le bois décheté (producteurs / consommateurs). Il participe au Pole Eco matériaux (chanvre / terre chanvre) et Pole expertise (conseil maîtrise d'ouvrage)
- Biofib avec Jules Delsalle, il est depuis 2019 Ingénieur développement chez CAVAC Biomateriaux, Biofib Isolation. Ingénieur diplômé de l'ENSTIB (École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois). Il a réalisé une spécialisation en matériaux bioressourcés et au développement de matériaux et expertise pour le matériau bois.
- Technichanvre : Samuel Brookfield-Dardenne : Il est en charge du développement commercial, des achats, de la gestion logistique et des stocks ainsi que des prestataires et de la production. Il porte des projets ainsi que la certification des produits (FDES, COV, ACERMI,...), le développement produits (R&D, R&T, essais labo) et outils de fabrications. Il participe à la gestion du pôle alimentaire/cosmétique de la société et des certifications BIO.

6.2. Contexte de la filière isolant en chanvre

6.2.1. Techniques de mise en œuvre

Différents types de matériaux de construction peuvent être obtenus à partir du chanvre, répartis en deux grandes familles :

- Les produits d'isolation thermique et/ou acoustique (laines et granulats : laines de chanvre en vrac, panneaux et rouleaux de chanvre, sous-couches isolantes/ feutres minces),
- Les mortiers et bétons végétaux de remplissage avec isolation répartie confectionnés sur chantier (dont les enduits) ou préfabriqués (parpaings, murs), tels que les blocs à maçonner (granulats + liants), les éléments modulaires et celles de grandes hauteurs et les éléments.

Le tableau ci-dessous répertorie les systèmes constructifs selon les entretiens :

Système constructif	Interchanvre	Ecopertica	Biofib	Technichanvre
Béton de chanvre	X			X
Terre chanvre projeté		X		X
panneau de chanvre (ITE)	X			
laine de chanvre	X	X	X	X

Tableau 16 Systèmes constructifs à partir d'isolants à base de chanvre selon les entretiens

Les entretiens mettent en avant deux systèmes constructifs selon les logiques de dépose :

- La première peut être qualifiée de « voie humide » (surligné en bleu dans le tableau ci-dessus) car elle pose la question de l'enduit, elle comprend le système constructif « ossature-remplissage ».
- La seconde correspond à une « voie sèche » (surligné en gris dans le tableau ci-dessus) où l'on retrouve le chanvre comme isolation adossé à une ossature bois ou un mur existant maçonné.

6.2.2. Retour expérience FDES

Une FDES a été réalisée par Vicat et Vieille Matériaux pour la brique béton-chanvre Biosys. La durée de vie de référence est de 100 ans. Pour la fin de vie, après un transport sur 100 km, les blocs de béton de chanvre en fin de vie sont mis en décharge de matériaux inertes. Deux phénomènes se produisent :

- Dégradation de la chènevotte : en référence à (FCBA CSTB DHUP CODIFAB FBF, Convention DHUP CSTB 2009 Action 33 sous-action 6 – ACV & DEP pour des produits et composants de la construction bois – Volet 2 Prise en compte de la fin de vie des produits bois, 2012), il est considéré que 15% de la chènevotte se dégrade, c'est à dire que 15% massique de son contenu en carbone est émis dans l'air, pour moitié sous forme de méthane et pour moitié sous forme de dioxyde de carbone.
- Carbonatation du liant du béton : la surface d'échange avec l'air ambiant est augmentée contribuant ainsi à accélérer le processus de carbonatation. Il est donc considéré que le béton sera à terme complètement carbonaté dans la limite du pourcentage de liant susceptible de se carbonater, mentionné dans la norme NF EN 16757, c'est-à-dire 75%. La quantité absorbée en fin de vie est 6,18 kg CO₂/UF.

Construire en Chanvre a également réalisé une FDES pour le béton de chanvre. La durée de vie de référence est de 100 ans. Le scénario de fin de vie est le suivant : « Le produit est enlevé à l'aide d'un burineur thermique, et ensuite concassé avant envoi en centre d'élimination. Les produits sont considérés éliminés à 100% par enfouissement comme déchets non dangereux. Un transport de 30 km du chantier au site de traitement est pris en compte. » Le taux de carbonatation pour les liants à base de ciment est de 70,05%.

- pour les produits industriels, les acteurs nous signalent la difficulté d'adapter chaque FDES pour chaque produit (une FDES pour chaque épaisseur commercialisée d'un matériau isolant).
- pour les produits issus des filières artisanales, l'approche est collective actuellement. Les acteurs indiquent que cela est dommage car cela tend à prendre des valeurs globales et le résultat est moins représentatif.

Freins	Leviers
Format individuel, chaque FDES pour 1 produit (1 épaisseur), chronophage et onéreux	
le format de la fiche collective où chacun a un mode de fonctionnement différent (liants différents, etc.) qui réduit l'efficacité des valeurs de la FDES.	Elle a le mérite d'exister
Pour la laine de chanvre : Pas de FDES prévue. La filière est en attente de la mise en place de la RE2020 pour éventuellement travailler ces sujets.	RE2020 A venir : la FDES chanvrière (pilote par Arthur depuis 2ans). Un certificateur en relecture de ce document. Un gros travail sur les analyses du terre-chanvre .

Tableau 17 Freins et leviers des FDES pour la filière chanvre

6.3. Réalisation des entretiens

6.3.1. Dépose sélective

Lors des opérations de dépose pour la construction en chanvre, il faut distinguer les systèmes constructifs selon leur appartenance à la « voie sèche » ou « voie humide ». Les tableaux suivants relèvent les commentaires sur la dépose sélective qui ont été discutés lors des entretiens.

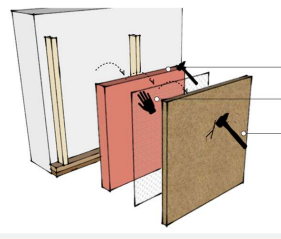
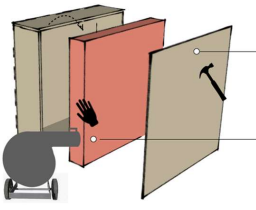
Voie humide - terre chanvre	Voie sèche - laine de chanvre
4cm d'épaisseur avec un enduit de finition. Là c'est plutôt l' enduit de finition, comment gérer la séparation ?	Laine de chanvre elle est déposée entre caisson ou plan entre solive. Pour la chènevotte c'est pareil que du cai Accès simple, manipulation simple. Elle peut être aspirée laine c'est pareil, on peut même la remettre en ballot, la ressortir comme elle a été rentrée. Nous on est sûr matériau 100% végétal, même pour la voie sèche pas d' à la mise en œuvre. On le récupère comme on l'a posé.
Sinon ossature très légère 30/40 mm (doublage de mur), filet en nylon (maille hexagonale 7 cm) on projette l'épaisseur de terre-chanvre derrière le filet, puis 3 devant le filet, avant l'enduit de finition.	
	

Figure 10 : Modalités de déposes sélectives (et outils)

6.3.2. Modalités techniques de dépose sélective

Lors du démontage :

Pour le béton de chanvre, il n'y a pas de contraintes particulières. Il est nécessaire de porter des gants et des lunettes de protection (à cause de la présence de chaux). Le béton de chanvre sera concassé grâce à une grosse masse.

Concernant la Terre chanvre : le liant est plus facile à retirer avec de l'eau. Le chanvre peut être trempé, il revient à son état naturel.

Pour la laine de chanvre / panneaux de chanvre : la laine de chanvre peut contenir de la chaux.

6.3.3. Modes de valorisation

6.3.3.1. Pour le béton de chanvre

- **Freins :**
 - Les acteurs attirent l'attention sur la composition des nouvelles chaux, dont la composition naturelle n'est pas toujours le cas. Certaines possèdent des adjuvants avec liants hydrauliques. D'autres n'indiquent par la formule, etc.
 - Pour l'étude Valobio, la piste du compost dépend de la formulation du liant. Certains peuvent avoir 10 à 20 % de ciment. Cela s'explique pour faciliter la mise en œuvre, la prise à court terme pour le système constructif. La présence de ciment ne permet plus d'envoyer le produit en filière de valorisation agricole.
- **Leviers**
 - La terre/chanvre répondrait davantage à cet enjeu (fin de vie/compost). Mais attention, la densité est différente et les propriétés thermiques aussi.
 - Chaux – ciment – adjuvants (cailloux et granulats), cela demande des essais scientifiques (valobio) pour répondre au compost industriel (selon leurs normes).
 - Valobio se concentre sur trois produits spécifiques pour étudier les capacités de compostage selon deux réflexions : un travail dans la préparation de la matière (pas de ciment) ou une éco-conception en amont.

6.3.3.2. Pour la laine de chanvre en rouleaux

Il faut être vigilant à la composition des rouleaux :

- **Freins :**
 - contient des liants polymères, adjuvants (feu) et des antifongiques
 - certains sont à 8 à 10 % de liant polymère, la séparation des fibre est difficile (voire impossible)

6.3.3.3. Evolution de l'isolant à base de chanvre

- Mécanisation de la fabrication des matériaux

Les modes d'application s'orientent vers la mécanisation de la fabrication des matériaux en chanvre. On observe une évolution vers la préfabrication et le développement des isolants en panneaux.

Cela tend vers la fabrication de panneaux pour ITE (isolation thermique par l'extérieur) en accord avec le projet de développement gouvernemental.

- Freins : perte de l'approche artisanale de la filière.
- Leviers : meilleur rendement. Développement d'une approche en circuit court (outil – chanvre – champ- machine).
- Réglementation pour étendre l'utilisation du chanvre aux ERP (Etablissement Recevant du Public)

La principale contrainte pour le chanvre est la réglementation liée à la résistance au feu / sécurité incendie. Matériaux inflammables et parfois sujets aux moisissures, ils requièrent des traitements spécifiques et leur préfabrication implique qu'ils se maintiennent dans un état final stable et s'assemblent facilement sur site. Ils se présentent sous la forme de blocs, de panneaux ou de rouleaux, souvent contenant des additifs ignifuges ou hydrofuges

Afin de démontrer la pertinence des matériaux biosourcés, la filière chanvre a dû porter des projets conséquents et onéreux. Cependant des essais sont en cours avec le CSTB, et les résultats sont positifs. L'article « Le chanvre et la paille se développent en vue de la RT 2020 et des JO 2024 » publié par le Moniteur le 05 avril 2019 précise la problématique que rencontre ces isolants.

Dans des cas particuliers, par exemple l'isolation des combles pour les ERP (équipement recevant du public), la réglementation actuelle entraîne des freins à l'utilisation des matériaux biosourcés. En effet, il est demandé d'ajouter des parements coupe-feu, ce qui crée un impact non négligeable sur le coût du projet. Des études sont réalisées actuellement pour créer des protections ignifuges à base d'algue.

6.4. Bilan / Principaux résultats obtenus

Pour l'évaluation de la complexité des opérations de dépose, les critères sont :

- l'équipement / outillage
- travail physique / pénibilité
- durée de la déconstruction
- difficulté technique

Chacun d'entre eux sont définis sur 4 niveaux (1,2,3,4) selon les éléments présentés dans le tableau suivant :

Faisabilité de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage	Outillage classique / dans une boite à outils	Outillage utilisé par les professionnels	Outillage demandant des qualifications spécifiques	Outillage d'expert
Effort physique / pénibilité	Légère Manutention	Transport de charge	Manutention et transport de charge	Equipe d'expert
Durée par rapport à une dépose classique	Même durée que la mise en oeuvre	2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 4 fois plus que la mise en oeuvre
Difficulté technique	Connaissance en bricolage	Connaissance technique	Qualification requise	Qualification experte

6.4.1. La dépose par voie humide

Dans le chapitre sur la dépose sélective, il est défini ce qu'on entend par voie humide et voie sèche. Dans le cadre de l'isolant à base de chanvre :

- On parle de mise en œuvre par voie humide pour les enduits terre-chanvre/chaux-chanvre et les mortiers et bétons chanvre, les granulés de chènevotte non traités, stabilisée, bitumés ; la projection terre-chanvre/chaux-chanvre.
- On parle de mise en œuvre par voie sèche pour la laine de chanvre en "vrac" manuelle ou mécanique, la laine de chanvre en rouleaux, la laine de chanvre en panneaux semi-rigides, le soufflage de laine de chanvre et les produits préfabriqués.

6.4.1.1. Les techniques de dépose sélective

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose, les moyens nécessaire et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Décrouter l'enduit	<ul style="list-style-type: none"> • Burin • Maillet • Prévoir sac et brouette 	<ul style="list-style-type: none"> • Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Travail physique / pénibilité • Travail long
Action 2 : Extraire le filet	<ul style="list-style-type: none"> • Manuellement 	<ul style="list-style-type: none"> • Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Travail physique • Travail long
Action 3 : Décrouter le terre chanvre	<ul style="list-style-type: none"> • Burin • Maillet • Prévoir sac et brouette 	<ul style="list-style-type: none"> • Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Travail physique / pénibilité • Travail long

Tableau 18 : techniques de dépose de l'isolant chanvre mis en œuvre par voie humide

6.4.1.2. Evaluation des techniques

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Équipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 19 : Evaluation de la complexité des techniques de dépose (voie humide)

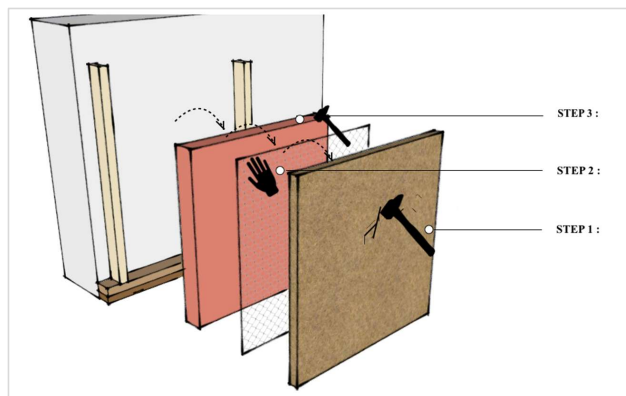


Figure 11 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant – voie humide

6.4.2. La dépose par voie sèche

6.4.2.1. Techniques de dépose sélective en panneau ou en rouleau

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose des isolants sous forme de panneaux ou rouleaux, les moyens nécessaire et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Ouvrir les caissons	<ul style="list-style-type: none"> Extracteur d'agrafes 	Humaine	
Action 2 : Extraire la laine de chanvre / chènevotte	<ul style="list-style-type: none"> Aspirer mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine Electrique 	

Tableau 20 : techniques de dépose du vrac recyclé

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective du panneau ou rouleau par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 21 : Evaluation de la complexité des techniques de dépose des panneaux/rouleaux (voie sèche)

Le schéma ci-après présente la méthode de déconstruction à appliquer :

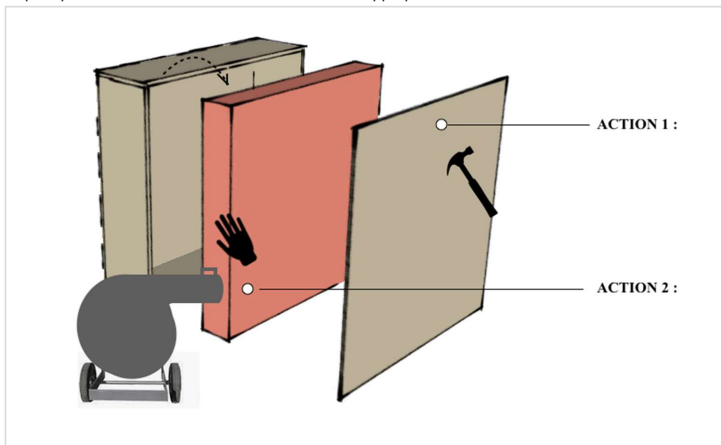


Figure 12 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant en fin de vie – voie sèche

6.4.3. Modes de valorisation pour la filière dit « artisanale »

Le projet VALOMATBIO ne traite pas du béton de chanvre car il existe en parallèle un autre projet R&D intitulé VALOBIO qui se concentre essentiellement sur ce produit.

Dans le cadre des filières artisanales, l'utilisation du chanvre n'est pas mélangée avec des adjuvants. Ces scénarios pour la valorisation de fin de vie pour la filière artisanale (sans adjuvant) s'orientent vers deux pistes de réflexion :

- repartir de la matière première pour « réutiliser » en matériaux d'isolation : réemploi dans le même usage
- Renvoi vers me secteur de l'agriculture, épandage pour certains sols (enrichir des terres pauvres) à différentes échelles.

Le schéma ci-dessous représente les domaines d'emploi potentiels pour valoriser la fin de vie du chanvre issu des filières artisanales.

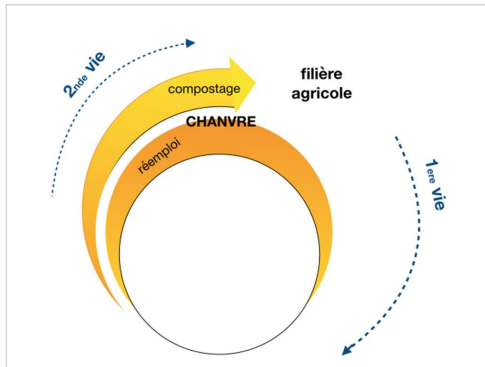


Figure 13 : Description des scénarios pour la valorisation en fin de vie du chanvre issu des filières artisanales

Le schéma ci-après décrit l'acheminement des isolants en fin de vie selon le schéma classique de la gestion des déchets du chantier vers la filière de traitement :

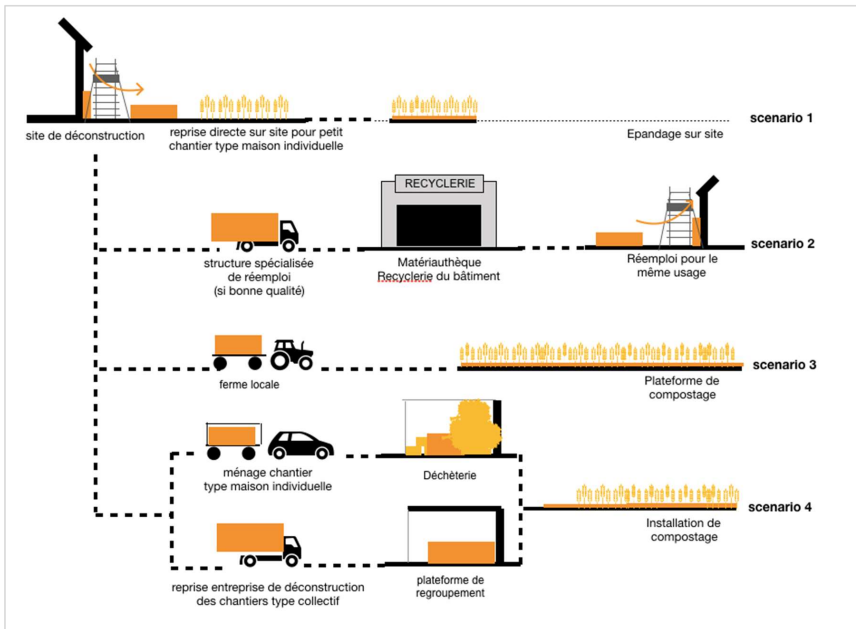


Figure 14 : Schéma d'acheminement des isolants en fin de vie composés de chanvre sans adjuvant vers les différents scénarios de valorisation

Comme le montre le schéma ci-dessus, les scénarios envisagés pour la valorisation en fin de vie des isolants composés de chanvre sans adjuvant sont les suivants :

- Valorisation agricole
- Réemploi/réutilisation

Dans les tableaux ci-après nous mesurons la faisabilité des scénarios. Nous avons établi plusieurs critères qui impactent la mise en œuvre du scénario. Nous avons évalué chaque critère grâce à un code couleur de 4 niveaux qui permet d'établir la faisabilité et la mise en œuvre du scénario. Le code couleur est présenté ci-après

Légende	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Vigilance	Avantageux

6.4.3.1. Scénarios épandage (Scénarios 1, 3 et 4)

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Artisans • Agriculteurs locaux 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Faible car ces scénarios envisagés sont envisagés à une échelle locale 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Faible 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Epandage/compostage 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • Pratique courante dans le domaine agricole 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite l'élaboration d'un réseau d'agriculteurs intéressés par la récupération du chanvre • Développement de la communication entre les artisans et les agriculteurs 	
Pertinence du scénario / recommandations	Ce scénario s'envisage pour les matériaux sans adjuvants selon le contexte territorial local	

Tableau 22 : Faisabilité du scénario « épandage/compostage »

6.4.3.2. Scénario 2 : Réemploi

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	Filière émergente. Nombreux acteurs concernés : <ul style="list-style-type: none"> Maitre d'ouvrage souhaitant réutiliser pour la nouvelle construction Entreprises du réemploi Déconstructeurs / Entreprises du bâtiment 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faisable dans certains cas mais demande d'établir des recommandations claires pour la déconstruction 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Limité, s'envisage à l'échelle du département 	
Transformation/consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Faible 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Pas de retour d'expériences Demande de contrôler la performance des matériaux en fin de vie 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable selon les modes constructifs et cas spécifique de certains chantiers 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Nombreux freins dont difficulté à s'assurer des performances, fiabilités et qualité suffisante de la matière récupérée. 	
Pertinence du scénario / recommandations	À l'heure actuelle, ce scénario s'envisage dans des cas spécifiques selon une mise en œuvre qui conserve les performances et la qualité de l'isolant	

Tableau 23 : Faisabilité du scénario « Réemploi »

6.4.4. Modes de valorisation pour les isolants dit « Filière industrielle »

Les scénarios pour la valorisation de fin de vie des isolants à base de chanvre avec adjuvant s'orientent vers deux pistes de réflexion :

- Réemploi des isolants en fin de vie
- Valorisation énergétique (cf. travaux de l'IMT Mines Atlantique)

Le schéma ci-dessous représente les domaines d'emploi potentiels pour valoriser en fin de vie l'isolant « chanvre » issu de la filière industrielle

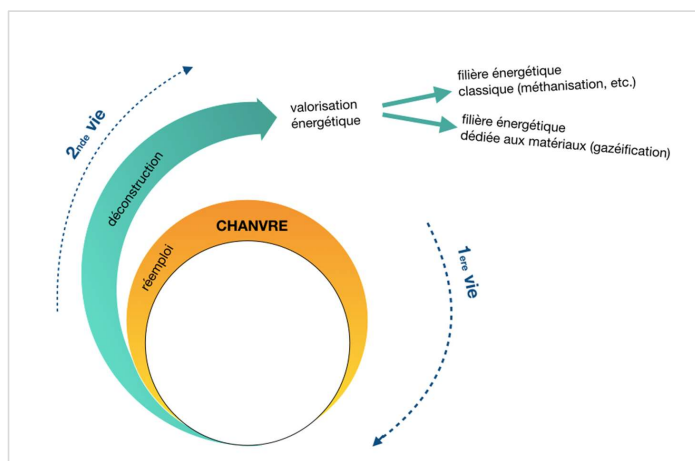


Figure 15 : Description des scénarios de valorisation en fin de vie des isolants chanvre pour la filière dit industrielle

Le schéma ci-après présente l'acheminement des isolants en fin de vie jusqu'au site de traitement.

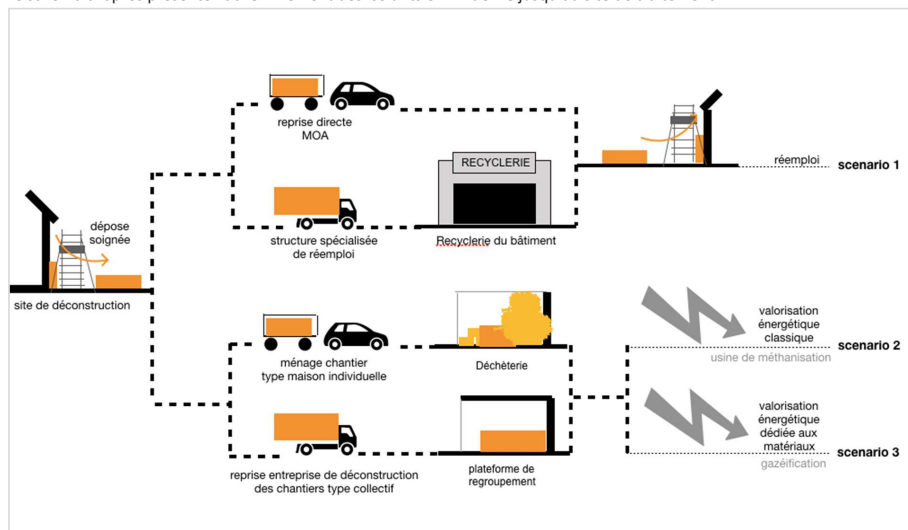


Figure 16 : schéma d'acheminement des isolants en fin de vie composés d'une majorité de chanvre et contenant des adjuvants vers les différents scénarios de valorisation

Comme le montre le schéma ci-dessus, les scénarios envisagés pour la valorisation en fin de vie des isolants à base de chanvre avec adjuvants sont les suivants :

- Réemploi/réutilisation
- Valorisation énergétique

Dans les tableaux ci-après nous mesurons la faisabilité des scénarios. Nous avons établi plusieurs critères qui impactent la mise en œuvre du scénario. Nous avons évalué chaque critère grâce à un code couleur de 4 niveaux qui permet d'établir la faisabilité et la mise en œuvre du scénario. Le code couleur est présenté ci-après :

Légende	Pas de contrainte	Faible contrainte / vigilance	Contrainte moyenne	Contrainte forte

6.4.4.1. Scénario 1 : réemploi

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<p>Nombreux acteurs concernés :</p> <ul style="list-style-type: none"> Maitre d'ouvrage souhaitant réutiliser pour la nouvelle construction Déconstructeurs / Entreprises du bâtiment 	Filière émergente en France
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faisable dans certains cas mais demande d'établir des recommandations claires pour la déconstruction 	Pratique émergente
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Plutôt limité, s'envisage à l'échelle du département 	Limité
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Plutôt faible 	Faible
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Pas de retour d'expériences réels. Clientèle envisageable ? Demande de contrôler la performance des matériaux en fin de vie 	Débouché dans des cas spécifiques
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable selon les modes constructifs et cas spécifique de certains chantiers 	Envisageable dans certains cas
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Nombreux freins dont difficulté à s'assurer des performances, fiabilités et qualité suffisante de la matière récupérée. 	Nombreux
Pertinence du scénario / recommandations	À l'heure actuelle, ce scénario est envisageable dans des cas spécifiques selon une mise en œuvre qui a conservé les performances et la qualité de l'isolant	

Tableau 24 : Faisabilité du scénario « Réemploi »

6.4.4.2. Scénario 2 et 3 : valorisation énergétique classique ou réfléchie

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<p>Nombreux acteurs concernés :</p> <ul style="list-style-type: none"> Maitre d'ouvrage souhaitant réutiliser pour la nouvelle construction Déconstructeurs / Entreprises du bâtiment Valorisation énergétique 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> En fonction des quantités sur le chantier, les solants pourront soit être triés ou mis en mélange avec les déchets pour un passage en centre de tri 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Plutôt limité, s'envisage à l'échelle du département / région 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Pas de transformation. 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Valorisation énergétique classique 	
	<ul style="list-style-type: none"> Valorisation énergétique réfléchie 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Des filières sont notamment en train de se structurer pour répondre aux enjeux de développement de gaz/électricité « verte », c'est-à-dire production d'une énergie décarbonée 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Peu de freins sur la valorisation énergétique classique Réflexion à pousser sur la valorisation énergétique de type pyrogazéification, notamment sur le réseau d'installations 	
Pertinence du scénario / recommandations	<p>Ce scénario est majoritaire à l'heure actuelle dans le cas d'une valorisation énergétique classique où les installations de traitement sont nombreuses en France. Le scénario de pyrogazéification est à surveiller en lien avec le développement de la filière en France.</p>	

Tableau 25 : Faisabilité du scénario « Valorisation énergétique »

6.5. Conclusions

En résumé, les entretiens ont montré qu'il existe deux grandes familles d'isolants à base de chanvre. Les isolants provenant de la filière dite artisanale et ceux provenant de la filière dite industrielle. Nos travaux ont montré qu'il était important que les scénarios de valorisation soient spécifiques à chacune de ces deux familles d'isolants.

Tout d'abord, concernant la dépose sélective, il apparaît que lors d'une mise en œuvre par voie sèche, la dépose soignée sera plus facile que lors d'une mise en œuvre par voie humide.

Dans le cas de la filière artisanale, avec une application en vrac et sans adjuvants du matériau, le scénario le plus vraisemblable sera la valorisation agricole.

Dans des cas spécifiques et notamment s'il n'y a pas eu de dégradation du produit pendant son utilisation. Le réemploi dans le même usage pourrait être un débouché possible. Ce scénario nécessite de vérifier que les isolants ont gardé leurs caractéristiques techniques afin qu'ils puissent être remis sur le marché. Ce scénario pourrait être approfondi dès l'apparition des premiers chantiers en fin de vie. L'objectif pourrait être de caractériser la matière en fin de vie afin de vérifier son état dans les différentes conditions de mises en œuvre et les capacités à récupérer soigneusement les matériaux.

Dans le cas de l'isolant provenant de la filière dite industrielle, le scénario le plus « vraisemblable » est la valorisation énergétique. Il s'agit alors d'envoyer les isolants vers les filières déjà existantes comme l'incinération ou la fabrication de CSR qui se développe en France dès aujourd'hui. Pour aller plus loin, d'autres techniques à venir, comme la pyrogazéification pourrait être un traitement plus dédié à ces types de matériaux en fin de vie. C'est sur quoi dans le cadre de nos travaux, l'équipe IMT Atlantique a travaillé et a approfondi les analyses en laboratoire.

7. Etude des scénarios en fin de vie de l'isolant à base de ouate de cellulose

7.1. Méthodologie

Des entretiens ont été menés avec différents acteurs de la filière ouate de cellulose pour réaliser un état des lieux de leur activité, mais aussi pour connaître l'état de réflexion quant à la fin de vie actuellement envisagée de ce matériau. Ces entretiens ont pu aborder les pistes possibles à plus ou moins court terme, ainsi que sur les freins et leviers qui y sont associés.

Les personnes avec qui nous avons fait des entretiens sont trois chefs d'entreprises de la filière, et un membre d'ARESO (Association régionale d'éco-construction du sud-ouest), ancien importateur, fabricant et distributeur de matériaux de construction biosourcés qui connaît très bien cette filière :

- Entretien n°1 : Jean-Pol Caroff, directeur général de Cellaouate et trésorier de l'ECIMA, le 03/05/2021
- Entretien n°2 : Graziella Osuna, gérante de SEMI SARL -Dolcea et vice-présidente de l'ECIMA, le 11/05/2021
- Entretien n°3 : Jean-Michel Bœuf, directeur de Ouattitude, président de l'ECIMA, le 26/05/2021
- Entretien n°4 : Nicolas Canzian, membre d'ARESO, le 10/05/2021

Mi-septembre 2021, un autre fabricant, Soprema, nous a fourni par mail une liste de pistes possibles de recyclage de la ouate de papier. Ces informations recourent et complètent celles précédemment obtenues.

Note : dans la suite de notre texte, nous respecterons l'anonymat de nos interlocuteurs, et ils seront signalés par F1, F2, F3, F4 et F5 (dans un ordre ne correspondant pas à la liste précédente).

7.2. Contexte de la filière ouate de cellulose

7.2.1. La ressource

Utilisée dans la construction en tant que matériau isolant, la ouate de cellulose est constituée à partir de **papiers de journaux ou, plus rarement, de carton recyclés et défibrés**. La ressource provient de trois types de gisements (approvisionnement) :

- Les journaux invidus des sociétés de presse et industriels cartonniers ;
- Les déchets (rognures) et les chutes (produits non-conformes) de papier (et carton pour une entreprise) issus des entreprises de fabrication (producteurs de la matière première) ;
- Les déchets de papiers-journaux, issus de la consommation des ménages et des entreprises, collectés dans le cadre de l'éco-organisme CITEO, ou directement auprès de particuliers et d'associations (comme en Bretagne pour Cellaouate).

En France, **6 960 000 tonnes de papiers et cartons ont été collectés en 2018** (incluant le solde import-export). 5 395 000 tonnes de papiers-cartons à recycler ont été effectivement utilisés, soit un taux de recyclage de 79,2 %.

Les différents usages de ces papiers-cartons recyclés sont :

- Emballages et conditionnement à 76 %,
- Usages graphiques à 17 %,
- Papiers d'hygiène à 5 %,
- Usages industriels et spéciaux à 2 % (source COPACEL 2019).

En 2019, la Chine a fermé ses frontières aux déchets carton de l'Europe. C'est donc toute l'Europe qui se retrouve saturée, et par ricochet, le marché français. Une partie de ce stock n'a en ce moment pas de solution de recyclage et s'entasse dans les centres de tri.

Pour autant, écouler le carton pour fabriquer un isolant en ouate de cellulose issue de ces derniers, semble une possibilité peu adaptée. En effet, les fabricants interrogés nous informent que « c'est trop lourd, trop poussiéreux (...) et c'est tellement dense que ça n'a pas un bon lambda (...) ». Et on ne peut pas enlever la poussière du carton parce que sinon il est encore plus dense, donc encore moins isolant » (F1). À noter toutefois que le fabricant NOVIDEM (près de Chalon-sur-Saône), que nous n'avons pas pu interroger car n'ayant pas répondu à nos sollicitations, fabrique de la ouate à partir de carton. La fiche

technique accessible sur leur site internet, précise que la ouate de carton subit un « traitement anti-poussière (0,5 % d'huile minérale) »⁴.

Historique :

Suite au choc pétrolier en 1970, la ouate de cellulose commence à se répandre en France en tant que matériau de construction. La chaîne de valeur des produits à base de ouate de cellulose a été fortement impactée par **deux chocs normatifs** :

* L'Union Européenne a interdit l'incorporation des sels de bore, particulièrement l'acide borique et le tétraborate de sodium, comme biocide dans ces isolants, car ces adjuvants ont été catégorisés comme écotoxiques et reprotoxiques de type CMR1 par la Réglementation REACH. Les Avis Techniques délivrés par le CSTB sur les ouates renfermant du bore ont été suspendus par la CCFAT (Commission chargée de formuler les avis techniques) le 30 juin 2012. En conséquence, les sels de bore ont été substitués par des sels d'ammonium à partir de novembre 2012.

* À l'issue de la constatation du dégagement de l'ammoniac gazeux dans les bâtiments isolés par ces derniers, un arrêté ministériel français a été publié le 21 juin 2013 interdisant l'importation, la fabrication, la vente, la distribution et la mise en œuvre de la ouate adjuvantée de sels d'ammonium. Ainsi, l'annexe 17 du règlement REACH a été modifiée, acceptant la mise sur le marché de la ouate faiblement concentrée en sels de bore en fixant la limite maximale à 5,5 % de la composition finale du produit, ainsi que la fonction de cet additif comme retardateur de flamme, et ceci uniquement jusqu'à l'identification d'un substituant plus performant.

7.2.2. Techniques de mise en œuvre

Dans la construction neuve ou en rénovation des locaux à faible ou moyenne hygrométrie des bâtiments à usage courant (tels que locaux industriels et commerciaux, établissements recevant du public, bâtiments à usage de bureaux, hôteliers, hospitaliers, scolaires, bâtiments d'habitations collectives), ainsi que les maisons unifamiliales isolées, jumelées ou en bande, la ouate de cellulose peut être utilisée afin d'assurer une isolation rapportée thermique et/ou acoustique. Ce matériau isolant peut se présenter sous deux grandes configurations :

- **En flocons en vrac sous deux formes :**
 - Compactée (mise en œuvre par soufflage mécanique à l'aide d'une cardeuse-souffleuse, par insufflation ou par projection humide ou flocage à l'aide d'une machine pneumatique),
 - Décompactée (mise en œuvre par épandage manuel)
- **Panneaux semi-rigides** isolants (panneaux isolants texturés et panneaux d'agencement). Ces derniers peuvent renfermer d'autres fibres minérales (gypse) ou végétales (fibre de bois, lin, chanvre ou coton). Les panneaux ouate-fibre de bois et ouate-gypse vendus en France sont produits à l'étranger.

De plus, des bétons de ouate de cellulose, servant comme matériaux de remplissage fournissant une isolation répartie, sont actuellement en stade de recherche. Le fabricant [F5] a effectivement signalé la ouate comme piste pour du béton allégé, mais nous n'avons pas d'information plus précise.

Dans le cadre de cette recherche, les entreprises des quatre fabricants interrogés produisent uniquement de la ouate de cellulose en vrac, à destination des professionnels et des négociants en produits de construction. Aussi la question de la fin de vie des panneaux ne sera que très peu évoquée.

7.2.3. Marché actuel

Presque tous les industriels français de la filière ouate de cellulose se sont regroupés au sein de l'association ECIMA (European Cellulose Insulation Manufacturers Association), représentant plus de 90 % de parts de marché en France, soit plus de 50 000 tonnes et environ 30 millions d'euros de chiffre d'affaires.

Entre 40 000 et 50 000 tonnes de ouate de cellulose en vrac ont été vendues en France en 2016 (estimation ECIMA). Les fabricants prévoient une progression de 10 % par an dans les prochaines années.

La ouate de cellulose représenterait 40 % du marché des matériaux isolants biosourcés selon l'ADEME (ADEME, 2014). Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie. Un quart à un tiers du volume de ouate de cellulose commercialisé en France est aujourd'hui fabriqué à l'étranger (importation), principalement en Allemagne et en Autriche. En parallèle, seule une petite partie de la production française est exportée vers des pays limitrophes, notamment l'Espagne, le Royaume-Uni, la Suisse. La part de l'importation est amenée à baisser alors que celle de l'exportation est amenée à croître avec l'augmentation du nombre de fabricants français.

⁴ <http://www.novidem.fr/wp-content/uploads/2018/07/NOVIDEM-fiche-technique-2018.pdf>

Les fabricants

En 2017, huit usines de production de ouate de cellulose en vrac ont été identifiées en France, dans six régions différentes :

Fabricant	Produit	Matériaux	Gamme
Cellaouate SAS à Saint Martin des Champs (29)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	Cellaouate (insufflation ou projection humide en mur)
			Cellaouate (soufflage sur plancher de combles)
Igloo France Cellulose à Les Achards (85)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	Grey Snow - IGLOO France – Watt Less – Ouatiipi – Cellulo'Pro (insufflation / projection humide)
Ouateco à Saint-Geours-de-Maremne (40)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	OUATECO - JUST BE GREEN - OUATECO NATURE - ISOL+ (soufflage sur plancher de combles perdus)
Ouattitude à Servian (34)	Isolant thermique		
SOPREMA à Strasbourg (67)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	UniverCell + (soufflage sur plancher de comble perdu ou insufflation / projection humide sur murs)
Novidem par IDEM à Chalon/Saône (71)	Isolant thermique	Ouate de cellulose de carton en vrac	NOVIDEM (application par soufflage en combles perdus ou par insufflation ou projection humide sur murs)
Biofib'isolation (ex-CAVAC Biomatériaux), usine à Ste Gemme la Plaine (85)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	Jetfib'ouate (soufflage, épandage, insufflation et projection humide)
STEICO (usine à Casteljaloux 47)	Isolant thermique	Ouate de cellulose en vrac	STEICOfloc

Tableau 26 : Fabricants des isolants en France

Plusieurs producteurs en Europe commercialisent en France une partie de leur production, comme le groupe belge ISOPROC (isolant DOLCEA), le groupe suisse Isofloc, le groupe autrichien Isocell et le groupe allemand Homatherm.

7.3. La FDES et les scénarios envisagés

La FDES est collective, portée par le groupement ECIMA (avril 2019) et porte sur la ouate de cellulose « en vrac ». Elle est valable 5 ans. L'un des fabricants rencontrés a souligné le fait que ce qui est complexe pour établir une FDES, c'est la compétence à avoir pour la construire. Pour lui, en effet, « les hypothèses sous-jacentes en termes de construction, etc., vont être déterminantes pour les résultats obtenus et affichés » (F3).

L'hypothèse retenue concernant la fin de vie du matériau sous cette forme est estimée égale à 50 ans, tant que ce dernier est dans de bonnes conditions, c'est-à-dire sans prise d'eau.

Outre son traitement chimique, qui préserve la ouate de cellulose des rongeurs et des micro-organismes, la ouate est capillaire et perméable à la vapeur d'eau. Cet isolant est apte à favoriser le séchage des parois en répartissant l'eau de condensation sur une grande superficie. Cette importante caractéristique explique le fait que la ouate de cellulose ne subit quasiment pas de perte de performance dans le temps.

D'après la FDES, après récupération de la ouate de cellulose au sein du bâtiment à l'aide des outils de déconstruction, il est supposé que tous les déchets soient valorisés selon le circuit de fin de vie français en l'absence de circuit de valorisation existant, comme suit :

- Mise en décharge (47 %) : Les déchets sont dirigés vers un centre de stockage de déchets pour enfouissement, tel que mentionné dans la norme NF P01-010. Seulement 1,5 % de la matière va complètement se dégrader sur 100 ans. Sur cette partie, la moitié va être réémise sous forme de CO₂ et l'autre moitié va être réémise sous forme de méthane. On considère que 70 % des décharges sont équipées pour le torchage du méthane. Seule 30 % de la fraction de méthane va donc être réémise, soit pour l'UF 0,36 kg eq CO₂ réémis dans l'air.
- Incinération avec récupération d'énergie (53 %) : 100 % du CO₂ biogénique contenu dans la ouate de cellulose va être réémis dans l'atmosphère, soit pour l'UF 7,17 kg eq CO₂ réémis dans l'air (PCI : 11,828 MJ/kg à 5 % d'humidité).

Il est à noter que la FDES "Ouate de cellulose en vrac" du fabricant Ouateco, datée de novembre 2019 (non disponible sur leur site internet et nous n'avons pas pu avoir d'entretien avec une personne de cette entreprise), précise : « Ouateco est équipé d'une ligne de granulation, une partie de la ouate récupérée sur chantier peut donc être revalorisée sur cette ligne. Le scénario choisi pour la fin de vie de la ouate est le suivant : 100 % recyclage (ligne Ouateco) ». Ce fabricant dispose d'une ligne de recyclage fonctionnelle, qui traite les chutes de production de la ligne de ouate neuve, cependant, il semble que la ressource à recycler, issue de déconstruction du bâtiment, soit actuellement très faible, voire inexistante.

Par ailleurs, Cellaouate est en train de travailler pour mettre au point sa propre FDES, qui permettrait de mieux tenir compte de leur collecte locale de papier, qui est une particularité forte par rapport aux autres fabricants français. En effet, 80 à 90 % de leur matière première est récupérée grâce à leur propre collecte : c'est un approvisionnement sûr, qui coûte moins cher et Cellaouate est peu dépendante des gros collecteurs et des prix des matières premières sur le marché mondial. Ce document devait sortir fin 2021, mais sa mise en point et sa rédaction ont été retardées du fait de la pandémie de COVID-19.

7.4. Premières conclusions

Les isolants à base de ouate de cellulose sont des **matériaux adjuvés**.

Certains, quand la ouate se présente sous forme de panneaux, contiennent également des fibres plastiques (polyesters et acryliques). Les filières comme le réemploi, la réutilisation et la valorisation énergétique sont des solutions envisageables.

La question du réemploi « à l'identique » (comme isolant en vrac) se pose d'autant plus que l'accès à la ressource, c'est-à-dire se fournir en matière première (le papier journal) se pose et va se poser de plus en plus fortement : tous nos interlocuteurs mentionnent le fait que « le problème aujourd'hui avec d'autres unités [de fabrication], c'est l'accès à la ressource » (F2). En effet, « c'est la Chine qui a la primeur en matière d'achat de papier (...) et du coup on est obligé d'avoir des sources dans toute l'Europe, c'est ridicule ! » (F1). Aussi, bien qu'il y ait de la demande en France pour ce produit, « les groupes aujourd'hui ne créent pas de nouvelle unité (...) par peur de raréfaction de la ressource » (F2).

Pour ce qui est de la réutilisation et recyclage, en particulier pour un autre usage que dans le domaine de l'isolation dans le bâtiment, la difficulté majeure porte sur la question du **sel de bore**.

7.5. Valorisation des isolants à base de ouate de cellulose

7.5.1. Dépose sélective

7.5.1.1. Retours d'expériences

Les fabricants interrogés mettent en avant la durée de vie a priori très longue de la ouate de cellulose, qui semble pouvoir également conserver toutes ses propriétés au fil des années.

Aucune des trois personnes n'a parlé de cas de fin de vie car c'est encore trop « récent » en France. Par contre, il y a eu des occasions de voir le produit en « cours de vie » et le seul précédent de dépose dont on nous a parlé, était lors de la crise de 2012 avec le sel d'ammonium où il a fallu enlever intégralement la ouate qui avait été posée :

- un fabricant nous a parlé de cas où des particuliers avaient fait mettre de la ouate de cellulose en combles perdus, dans les années 1981-82 et « à l'époque on posait 5 cm [d'épaisseur], maintenant on met 35 cm, donc il a fallu faire des compléments et la ouate n'a pas été enlevée » (F1), c'est un complément de ouate qui a été ajouté par-dessus la ouate « ancienne ». Ou un autre chantier de 1999 qui avait subi pendant 10 ans les dégâts des eaux parce qu'il y avait une fuite dans le toit qui n'avait pas été réparée ». Il nous a expliqué que le plafond avait dû être tombé, avec 40 cm de ouate et que celle-ci « était neuve. (F1).
- les expériences de dépose et d'évacuation de la ouate de cellulose ont eu lieu en 2012, conséquence de la décision européenne de ne plus traiter la ouate avec du sel de bore mais avec des sels d'ammonium. Le problème c'est qu'assez

rapidement cela a dégagé de l'ammoniac dans les bâtiments. Tous les chantiers concernés par cette ouate sans sels de bore ont dû être repris par une dépose complète. Depuis, le sel de bore est de nouveau autorisé. Chaque fabricant nous a indiqué que la dépose n'avait posé aucun problème technique. Mais il faut noter que cela s'arrêtait à la dépose puisque le matériau problématique n'était pas conservé pour un autre usage : donc pas de question particulière quant au stockage, juste sur le transport pour finalement être incinérée.

Chaque personne avec qui nous avons eu un entretien a aussi évoqué des cas de déconstruction en Autriche où la ouate de cellulose est utilisée depuis plus longtemps qu'en France, principalement dans des maisons à ossatures bois. On est là dans le cas de ouate insufflée dans des panneaux (parois verticales, planchers, rampants)⁵ et non, dans des combles perdus, ce dernier cas étant (pour le moment) le plus courant en France. Un des points intéressants que souligne un de nos interlocuteurs, est que « le ouate dans l'ouvrage mis en œuvre n'avait pas bougé et [les collègues autrichiens] ont refait les tests thermiques, mécaniques, etc. et les performances étaient totalement maintenues. Donc la ouate récupérée est repartie dans le circuit » (F3).


7.5.1.2. Contraintes sur les chantiers de déconstruction

Les fabricants indiquent que la dépose de la ouate en vrac n'est pas un problème. En effet, il existe la possibilité d'ajouter un kit de dépose-aspirateur pour cardeuse. C'est le même principe seulement l'air est inversé » (F2).

Comme pour la pose, le professionnel qui intervient doit se munir des EPI classiques (combinaison, lunettes, gants et masque P2), très important car toute manipulation de la ouate (soufflage comme aspiration) provoque de la poussière qui est très volatile.

7.5.1.3. Modalités techniques

Le tableau ci-dessous précise les modalités techniques possibles pour récupérer les isolants en fin de vie :

Mode	Vrac
Mode de dépose	Aspiration
Technique de dépose	Aspiration avec une machine dédiée à cet usage ou bien avec le même appareil utilisé pour le soufflage. Sortie vers un sac de réception de type big-bag.
Complexité de la dépose	 Aspiration mécanique
Outils nécessaires	Aspirateur spécifique dédié à cet usage ou machine à souffler l'isolant
Conditionnement	Mise en big-bag et mise en compression (aspiration maximale de l'air) pour réduire le volume. Ou Mise en silo temporairement, dans le cas d'un réemploi à l'identique dans le bâtiment construit sur le site de déconstruction.
Limites	« Pollution » éventuelle par des bouts de câbles, de gaines, de plâtre... > prévoir dans ce cas une ligne pour « dépolluer » avec des griffes et ou des grilles pour filtrer.

L'un de nos interlocuteurs nous indique que s'il on utilise la même machine que celle qui souffle, « chaque fois qu'on passe la ouate dans une machine, vue qu'elle ressemble à une mini-cardeuse, ça peut abimer les fibres » (F4)

Dans le cas où la ouate est projetée avec de l'eau (très peu, « juste ce qu'il faut pour faire du papier collant, du papier mâché et l'eau sèche, s'évacue » (F2)), ce qui est une technique peu courante, il faudra gratter un peu avec une sorte de grattoir, mais il n'y a « pas de difficulté particulière, ça vient très facilement » (F2). Le stockage et toute la suite est le même que pour la ouate en vrac.

⁵ On pourra se reporter à la fiche de Isocell intitulée « La cellulose ne connaît aucun signe de fatigue », qui témoigne de deux maisons déconstruites (au moins en partie) et montrant l'état de la ouate après 21 ans pour l'une et 17 ans pour l'autre > https://www.isocell.com/fileadmin/pim_copy/WERBUNG/WERBUNG_MA_ZELLULOSE_Langlebigkeit_FR_WEB.pdf

7.5.2. Transport & stockage

Contraintes liées au transport

Les fabricants s'interrogent sur le coût de transport de la matière car la ouate de cellulose en vrac est volumineuse avec un poids faible : « dans un camion de 38 tonnes, même si la ouate est compressée dans des sacs, on transporte un maximum de 13 tonnes. Il faut avoir la capacité de compresser pour que ça prenne un peu moins de place » (F1). À ce propos, l'un d'eux nous précise que le vrac est plus intéressant que les panneaux car ces derniers ne peuvent pas être comprimés...

De plus, il faut mettre en place une collecte, or les bâtiments isolés avec de la ouate sont éparpillés sur le territoire. La question du lieu où l'on stockerait ces big-bags est donc primordiale, l'idéal étant bien entendu de stocker sur le chantier même de déconstruction, en vue d'une utilisation dans la nouvelle construction qu'il y aurait sur ce site en chantier.

Une possibilité évoquée serait de stocker la ouate dans des centres de tri, de conclure des accords avec des déchetteries proches du chantier de déconstruction, ce qui permettrait une organisation logistique rentable économiquement et écologiquement, « sans que ça coûte des litres de gazoil » ((F2). Quand on aurait assez de matériaux stockés, une masse suffisante, « au bout d'un certain temps on pourrait faire passer un camion qui emporte cette matière première » (F1) pour ensuite être retraitée.

Contraintes liées au stockage

Le stockage doit répondre à plusieurs contraintes : la possibilité de garder des volumes relativement importants à conserver et la mise à l'abri de l'humidité (« moins de 12 % d'humidité, comme en sortie d'usine » (F2)). Cela veut dire de prévoir des abris pour entreposer les big-bags pour que la ouate de cellulose ne prenne pas l'eau.

7.5.3. Modes de valorisation

Nos quatre interlocuteurs ont évoqué différentes pistes, plus ou moins avancées, quant à ce que l'on pourrait faire de la ouate de cellulose en vrac. La question des panneaux n'a pas été abordée, ou alors de façon très marginale car aucun des trois fabricants interrogés n'en fabrique et les volumes mis en œuvre sont encore très faibles.

Le sel de bore

Régulièrement, la question du sel de bore présent dans la ouate de cellulose, a été discutée car c'est un élément crucial impactant la fin de vie de ce matériau isolant. Pour l'un d'eux, « la messe est dite, c'est-à-dire qu'on n'a pas d'autres solutions que de trouver, dans une échéance la plus courte possible, sous cinq ans, pour trouver des alternatives » (F3). C'est aussi pour cela qu'aucun d'entre eux ne se « bloque par rapport à la réflexion sur le sujet et la construction de solutions » (F3). Mais chacun se demande « comment les vérifier » (F2) et compte aussi sur cette recherche Valomatbio pour apporter des éléments de réponse.

Chacun a son avis sur la nocivité (ou non) du sel de bore, mais ils ne nous ont pas fourni d'éléments scientifiques permettant d'étayer les arguments avancés. Les quantités qui nous ont été communiquées montrent qu'actuellement cela représente 3 à 4 % maximum de l'isolant.

Rappelons que le sel de bore est utilisé ici comme ignifugeant (c'est un retardateur de feu, ce qui donne à la ouate de cellulose un classement au feu très élevé) et antifongique, empêchant « la vermine et les champignons de se développer » (F4). Il apparaît comme « difficilement contournable et substituable » (F3). Une personne nous précise que ce produit n'est pas cancérigène, mais tératogène, « c'est-à-dire qu'il a un impact sur la fertilité masculine si on en ingère une certaine quantité » (F4).

Il est à noter que le jour où le sel de bore sera remplacé par un produit pas (ou moins) problématique, se posera la question de l'identification de l'isolant à base de ouate de cellulose : « il y aura à gérer le fait que, à un moment donné, s'il y a changement de formulation, il pourra y avoir des statuts de ouate différents, mais ce n'est pas la même chose que de se dire que de toute façon il y a du sel de bore, donc de toute façon... » (F3). Il sera donc nécessaire de reconnaître le produit pour valoriser au mieux, et ne pas rester sur le schéma de valorisation du « moins disant » et tout mettre au même niveau (le plus bas).

7.5.3.1. Réemploi dans le même usage

Tous nos interlocuteurs s'accordent sur le fait que le réemploi en l'état, sous réserve, comme on l'a vu précédemment, que la ouate ne soit pas « polluée » (c'est-à-dire comprenant d'autres éléments comme des câbles ou autres choses de ce genre) et qu'elle soit en bon état, leur semble la solution la plus logique, et la plus évidente. Il faudrait aussi que la réutilisation en vrac ne se fasse pas trop loin du chantier de déconstruction et/ou du lieu de stockage. Le frein est ici essentiellement logistique.

Néanmoins, les fabricants s'interrogent pour savoir si la ouate aura conservé toutes ses propriétés, le réemploi pourra donc être envisagé, ou bien s'il faudra récupérer la matière en vue de la réutiliser dans le process, on est alors dans le recyclage en boucle fermée.

Un acteur (F1) signale également que l'isolant a pu connaître différentes compositions suivant les années, notamment avec l'épisode malheureux sur le sel de bore. Il n'y a pas d'étude existante sur l'évolution de la composition de l'isolant selon les années de mises sur le marché qui a été fournie.

En fonction des protocoles envisageables vis-à-vis du réemploi de la matière, il pourra être défini des critères en vue de diriger les isolants vers une structure de réemploi qui pourra vérifier les bonnes aptitudes du matériau en vue de leur réemploi.

Dans le cas où la chaîne du réemploi n'existe pas, il semble que seule une récupération par les fabricants en vue d'un recyclage en boucle fermée pourra démontrer les performances et exigences atteints par le produit. Il sera nécessaire de repasser par les chaînes de production. L'enjeu sera alors ici d'étudier les possibilités logistiques de récupérer l'isolant pour le renvoyer dans les sites de fabrication, tout en essayant d'optimiser les coûts de transport.

On nous signale que la matière première a aussi évolué depuis les débuts. Le papier journal intégrant de plus en plus de papier recyclé ce qui impacte sur la qualité des fibres, étant auparavant sont plus longues, cela permettait un produit composé de ouate de cellulose qui se tient mieux.

Autre impact énoncé par l'acteur (F1), auparavant, les encres étaient au plomb... Il paraît important de vérifier que la ouate produite dans les premières années n'en contienne pas. Cependant, d'après les fabricants interrogés, le produit isolant, ne contient pas de plomb. Le fabricant Novidem, dont l'isolant est produit à partir de carton, mentionne cependant l'absence de plomb dans son produit par rapport à la ouate de cellulose « classique ».

Pour les trois fabricants interrogés, la poussière qui s'accumulerait au fil des années sur et dans la ouate déposée en combles perdues, n'apparaît pas comme un problème. D'un avis contraire, l'ancien revendeur de produits isolants estime lui que « ce qui souille tous les isolants, ce sont les poussières qui se déposent ». C'est pourquoi, le réemploi paraît mieux s'envisager lorsqu'il la ouate de cellulose a été insufflée en caissons.

Une solution apportée lors des entretiens pourrait être d'envisager de mettre un « film anti-poussière, dans un papier un peu spécial » pour parer au risque de feu, et facile à enlever pour récupérer la ouate ensuite.

7.5.3.2. Recyclage pour des panneaux isolant en ouate de cellulose (en boucle fermée)

Dans le cas où la ouate de cellulose serait récupérée en vue d'un recyclage en boucle fermée, sur des lignes de production, certains évoquent la possibilité de faire des panneaux semi-rigides à partir de la ouate récupérée, posé en pression dans des rails. Cela signifie alors ajouter un adjuvant pour lier les fibres.

L'intérêt des panneaux semble résider principalement dans leurs qualités acoustiques. Il semble que ce soit un marché qui se développe, bien que les panneaux soient plus chers à fabriquer.

On peut aussi noter que cela nécessite une dépense d'énergie plus importante lors de la fabrication et lors du transport. En effet, pour ce dernier point, on a affaire à de plus gros volumes que le vrac, car on ne peut pas compresser des panneaux.

Et se pose de nouveau la question de la fin de vie de ces panneaux, même si pour certains fabricants cela paraît bien lointain.

En effet, outre les éléments de la ouate en vrac, s'ajoute un polyester bi-couche, fabriqué pour sa part à partir de bouteilles recyclées. Le panneau, en fin de vie, pourrait être stocker et réutiliser pour le même emploi. Là aussi, cela demande un stockage à l'abri de l'eau, en intérieur.

7.5.3.3. Valorisation agricole

Nos interlocuteurs ont envisagé cette piste comme étant une des plus intéressante, après le réemploi. Elle pourrait être de deux natures différentes : comme enrichissement de substrat, et en application de couverture (type paillage).

Les fabricants semblent considérer que la présence de sel de bore n'est pas un problème, mais ils ne nous renvoient à aucun document précis portant sur son impact dans les situations évoquées. L'un d'eux nous signale une étude autrichienne qui montrerait le rôle positif du sel de bore dans la phase de germination du maïs, mais l'étude n'a pas été transmise.

D'une façon générale, l'intégration au sol ou l'utilisation en une sorte de paillage (intéressant pour sa capacité à retenir l'eau), est considérée par les fabricants comme n'étant pas forcément problématique car les quantités de sel de bore et de magnésium sont présentées comme faibles et donc inoffensives. Concernant plus précisément le paillage, un fabricant laisse entendre qu'il est sur un développement en cours, mais nous n'avons pas les éléments pour juger de l'intérêt, ni si cela utilise de la ouate recyclée.

D'autres acteurs se montrent dubitatifs quant aux utilisations pour l'agriculture car, s'ils voient l'intérêt de la ouate pour retenir l'eau près de la plante, pour eux le problème reste le sel de bore. Les retours d'expériences montrent que cela a un impact sur le milieu en détruisant les champignons présents dans le sol. La solution serait de séparer le sel de bore de la ouate de cellulose, mais actuellement il n'y a pas de technique éprouvée pour le faire.

Ces réserves sur cette filière émises par certains acteurs, y compris dans notre groupement, nous poussent à ne pas retenir cette piste potentielle actuellement.

7.5.3.4. Recyclage en boucle ouverte : du côté des travaux publics

Un fabricant nous a indiqué que la ouate de cellulose pourrait être réutilisée en étant mélangé à d'autres matériaux, via un nouveau process industriel, pour faire des couches en sous-route. Il nous a mentionné être en contact avec des entreprises d'Europe du Nord qui mélangeaient la ouate avec du bitume. Un avantage est par exemple « une meilleure absorption de l'eau par le bitume » (F2), ou encore « l'amélioration de la souplesse et de l'élasticité » (F3) des enduits obtenus, entraînant des propriétés acoustiques à ce revêtement de route, mais qui évite aussi, grâce aux fibres qui le structurent que, lors de périodes de gel, « le bitume craque » (F2).

7.5.3.5. Recyclage en boucle ouverte : dans le bâtiment

Comme évoqué précédemment, la ouate pourrait peut-être constituer un élément pour alléger le béton. D'autres pistes sont évoquées par (F5) avec la ouate de cellulose qui pourrait entrer dans « les enduits de chaux et de ciment blanc », dans les torchis de terre, voire pour les plaques de plâtre. Actuellement ce sont des pistes de réflexion. Il n'y a pas de tests qui ont été mis en œuvre.

7.5.3.6. Recyclage en boucle ouverte : thermoliage et moulage dans l'industrie automobile

Autres pistes évoquées, l'incorporation de ouate de cellulose dans des sortes de panneaux souples ou de coques, avec de la résine (issue du pétrole ou de la chimie végétale). Les débouchés seraient par exemple l'industrie automobile, qui l'utiliserait dans les portières des voitures pour limiter le bruit et les vibrations, ou encore pour faire des coques de bateaux (ou autres) à partir de moulage.

7.5.3.7. Valorisation énergétique

L'incinération, ou d'autres process énergétiques à venir, qui est une des fins de vie prise en compte pour l'établissement de la FDES, reste une des solutions qui semble viable, car s'il y a un retardateur de feu, le produit n'est pas pour autant incombustible.

7.5.3.8. Autres solutions évoquées

D'autres fins de vie sont évoquées par nos quatre interlocuteurs mais elles semblent en début de réflexion :

- La pyrogazéification : le fabricant qui suggère cette piste, précise que c'est une filière de traitement en cours de développement, car « pour l'instant il y a très peu de structures faisant cela, (...) mais qu'à terme ça sera intéressant parce qu'ils auront besoin de matière » (F2). Dans le cadre de notre projet de recherche Valomatbio, notre partenaire, IMT Atlantique a travaillé sur cette piste.
- La filière travaille également sur une piste de transformation en granulés pour litière animale, mais nous n'avons pas plus d'éléments sur la faisabilité et/ou les limites (liées à la proportion de sels de bore) de celle-ci.
- Recyclage en boucle ouverte dans la fabrication d'emballage industriel. Il s'agit alors de vérifier que la cellulose récupérée est apte au cahier des charges des industriels de ce secteur.
- Retour à la matière première pour refaire du papier ? C'est une option revenue plusieurs fois lors des entretiens, mais où l'on s'interroge sur les compétitions en les différentes ressources et la qualité des fibres.

7.6. Bilan et principaux résultats obtenus

À partir des restitutions des enquêtes, cette partie approfondit deux approches :

- la première a pour objectif d'identifier les étapes de la déconstruction, pour évaluer la difficulté de mise en œuvre de la déconstruction. Il s'agit de décrire les actions pour chaque étape, de noter les outils nécessaires et d'estimer la pénibilité de ces travaux.
- la seconde partie aborde les domaines d'emploi de la valorisation des fins de vie des matériaux en textile recyclé. Il s'agit d'évaluer et d'identifier les acteurs, les conditions et les nouvelles utilisations.

Chacun d'entre eux sont définis sur 4 niveaux (1,2,3,4) selon les éléments présentés dans le tableau suivant :

Faisabilité de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage	Outillage classique / dans une boîte à outils	Outillage utilisé par les professionnels	Outillage demandant des qualifications spécifiques	Outillage d'expert
Effort physique / pénibilité	Légère Manutention	Transport de charge	Manutention et transport de charge	Equipe d'expert
Durée par rapport à une dépose classique	Même durée que la mise en oeuvre	2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 4 fois plus que la mise en oeuvre
Difficulté technique	Connaissance en bricolage	Connaissance technique	Qualification requise	Qualification experte

Tableau 27 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose

7.6.1. Mise en œuvre de la dépose sélective

7.6.1.1. Ouate de cellulose en vrac, en combles perdus

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Aspirer la ouate en vrac à l'aide d'un aspirateur en déployant un conduit dans les combles	Aspirateur spécifique ou souffleur « inversée » EPI	Électrique	Équipement spécifique
Action 2 : une fois le sac plein, le fermer et en mettre un nouveau	Manuellement	Humaine	
Action 3 : Aspirer l'air du big-bag pour compresser la ouate	Machine spécifique	Électrique	Équipement spécifique

Tableau 28 techniques de dépose de ouate en vrac (combles perdus)

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 29 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac (combles perdus)

7.6.1.2. Ouate de cellulose en vrac, dans caisson

Technique 1. Aspiration

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Dégrafer les panneaux	Pied de biche, extracteur d'agrafes	Humaine	
Action 2 : Aspirer le vrac dans un big-bag	Aspirateur spécifique ou souffleur « inversée » EPI	Électrique	Équipement spécifique
Action 3 : une fois le sac plein, le fermer et en mettre un nouveau	Manuellement	Humaine	
Action 4 : Aspirer l'air du big-bag pour compresser la ouate	Machine spécifique	Électrique	Équipement spécifique

Tableau 30 Technique 1 de la dépose de ouate en vrac (combles perdus)

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 31 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac par aspiration (combles perdus)

Technique 2. Sans aspirateur

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Dégrafer les panneaux	Pied de biche, extracteur d'agrafes EPI	Humaine	
Action 2 : Enlever à la pelle et remplir des sacs	Manuellement EPI	Manuellement	
Action 3 : une fois le sac plein, le fermer et en mettre un nouveau	Manuellement	Humaine	
Action 4 : Aspirer l'air du big-bag pour compresser la ouate	Machine spécifique	Électrique	Équipement spécifique

Tableau 32 Technique 2 de la dépose de ouate en vrac manuellement (combles perdus)

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 33 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac manuellement (combles perdus)

7.6.1.3. Ouate de cellulose projetée humide

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Gratter pour enlever la ouate	Grattoir EPI	Humaine	Travail peu physique mais long
Action 2 : Enlever à la pelle et remplir des sacs	Manuellement EPI	Humaine	Répétitif
Action 3 : une fois le sac plein, le fermer et en mettre un nouveau	Manuellement	Humaine	
Action 4 : Aspirer l'air du big-bag pour compresser la ouate	Machine spécifique	Électrique	Équipement spécifique

Tableau 34 Technique de la dépose de la ouate projeté

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 35 Evaluation de la complexité technique de la dépose de la ouate projeté

7.6.2. Synthèse des scénarios de valorisation en fin de vie

Le schéma ci-après présente les domaines d'emploi potentiels de la ouate de cellulose en vrac retenu fin de vie.

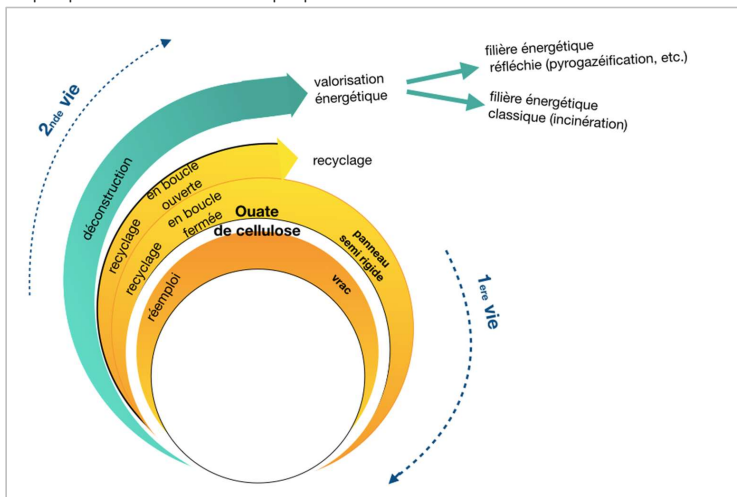


Figure 17 : Schéma des modes de valorisation potentiels de la fin de vie de la ouate de cellulose en vrac

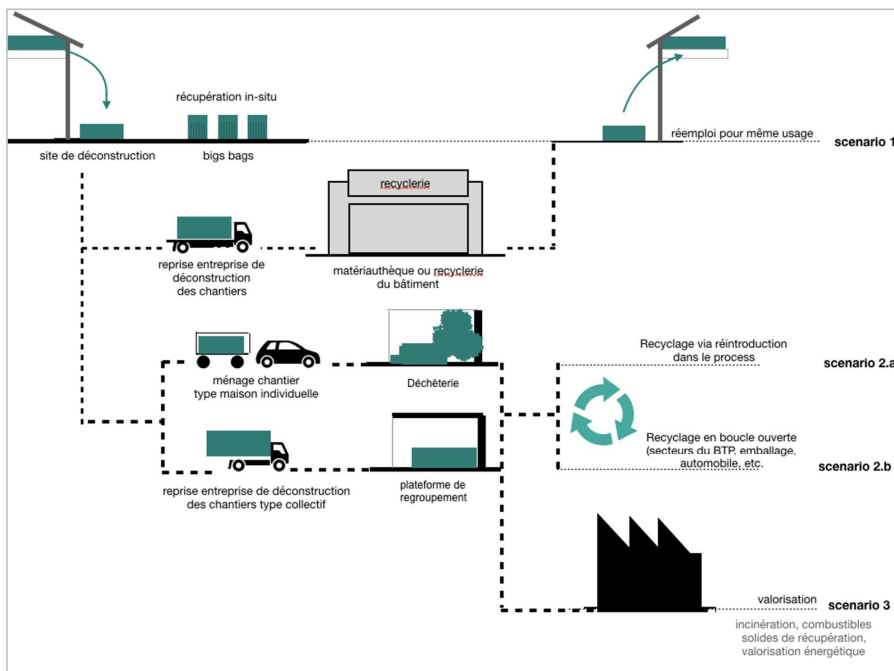


Figure 18 : Description des pistes possibles sur l'acheminement de la ouate de cellulose en fin de vie vers les filières de traitement.

Les scénarios envisagés pour la valorisation en fin de vie des isolants en ouate de cellulose sont les suivants :

- Réemploi/réutilisation
- Recyclage en boucle fermée
- Recyclage en boucle ouverte
- Valorisation énergétique (incinération, CSR ou valorisation énergétique réfléchie)

Le code couleur ci-dessous permet d'établir la faisabilité et la complexité de la mise en œuvre du scénario grâce à la description de différents critères pour assurer la mise en œuvre de la filière

Légende	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Vigilance	Avantageux

Scénario 1 : Réemploi pour le même usage

Organisation		Niveau de contrainte
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	Nombreux acteurs concernés : <ul style="list-style-type: none"> • Maître d'ouvrage souhaitant réutiliser pour la nouvelle construction • Déconstructeurs / Entreprises du bâtiment • Structures de l'ESS Filière émergente en France	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Faisable mais demande d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Plutôt limité, s'envisage plutôt localement, voir directement réutilisé par le MOA 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Plutôt faible 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de retour d'expériences réels car isolants trop récents. 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • La responsabilité élargie des producteurs et la mise en œuvre de système individuel potentiel peut être un atout 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Demande de contrôler la performance des matériaux en fin de vie 	
Pertinence du scénario / recommandations	Ce scénario est à envisager dans des cas spécifiques selon la mise en œuvre en caisson par exemple qui permettrait de mieux conserver les performances et la qualité de l'isolant	

Commenté [AB1]: @Delphine ROLLET, il faudra intégrer les couleurs en fonction des niveaux de contraintes

Tableau 36 : Faisabilité du scénario « Réemploi pour le même usage » pour la ouate de cellulose

Scénario 2 : Recyclage quasi boucle fermée en réintroduisant le matériau dans le process pour en faire des panneaux / Recyclage en boucle ouverte (pistes : secteur BTP, secteur emballage, secteur automobile)

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Déconstructeur • Transporteur/Opérateur déchets • Entreprise de recyclage / • Fabricants d'isolant en ouate (panneaux) 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Faisable mais demande d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Recyclage en boucle fermée : Retour dans l'usine de fabrication d'origine (et stockage à l'abri) • Echelle nationale • Recyclage en boucle ouverte : transport vers usine de recyclage (à créer et développer, dans le cadre d'un débouché potentiel) (et stockage à l'abri) • Echelle nationale 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation de la matière non connue 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle fabrication permet d'établir les nouveaux tests de performance / qualité • Economie de ressources 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • Envisageables selon les modes constructifs 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaissance des produits par les déconstructeurs • Qualité suffisante de la matière récupérée • Composition variée du produit suivant son année de mise en œuvre • Certains fabricants souhaitent récupérer uniquement leurs produits dans le cas d'un recyclage en boucle fermée • Transport et Stockage 	
Pertinence du scénario / recommandations	<ul style="list-style-type: none"> • Scénario non majoritaire à l'heure actuelle car il montre de nombreux freins. Des réflexions sont en cours pour son développement 	

Tableau 37 : Faisabilité du scénario « Recyclage » pour la ouate de cellulose

Scénario 3 : Valorisation énergétique (incinération / ou fabrication de Combustibles solides de récupération (CSR)/ valorisation énergétique dédiée et réfléchi aux matériaux)

Organisation	Description des différents critères	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> Déconstructeur Transporteur/Opérateur déchets Cimentier / fabricant et utilisateur de CSR 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Dépend du type de valorisation énergétique. Sur les filières classiques, type incinération ou combustible solides de récupération, le traitement pourra être réalisé à l'échelle régionale. Sur les nouvelles filières énergétiques innovantes, les installations n'existent pas encore. 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Préparation en combustibles 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Valorisation énergétique classique Valorisation énergétique réfléchi demande de poursuivre les travaux R&D 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Des filières sont notamment en train de se structurer pour répondre aux enjeux de développement du gaz vert 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Peu de freins sur la valorisation énergétique classique Réflexion à pousser sur la valorisation énergétique de type pyrogazéification, notamment sur le réseau d'installations 	
Pertinence du scénario / recommandations	<p>Ce scénario semble majoritaire dans sa mise en œuvre à la situation actuelle. Pour la pyrogazéification, le développement dans les années à venir de la filière est à surveiller</p>	

Tableau 38 : Faisabilité du scénario « valorisation énergétique » pour la ouate de cellulose

7.7. Conclusions

À partir des entretiens menés auprès des différents interlocuteurs de la chaîne de la déconstruction, les acteurs témoignent de la « jeunesse » de ce matériau en France et qu'il existe peu d'expériences de leur mode de gestion en fin de vie.

Nos recherches sur les pays utilisant ces isolants depuis plus longtemps montrent de bonnes aptitudes concernant le vieillissement de ce produit. Il n'est pourtant pas possible de faire un parallèle direct, en examinant ces retours d'expériences, car le résultat dépend de plusieurs facteurs qui peuvent différer d'un pays à l'autre : techniques de mise en œuvre, compositions précises de l'isolant et contexte de la gestion des déchets. Nous n'avons d'ailleurs rassemblé peu de documents bibliographiques sur ce sujet.

Concernant les techniques de dépose sélective, il existe déjà des techniques, à partir de l'équipement de mise en œuvre dit souffleuse qui, à l'aide de l'ajout d'un kit spécifique, peut servir comme aspirateur. Le point positif est donc que ces techniques sont peu complexes, notamment dans le cadre d'une mise en œuvre en vrac, cas le plus rencontré jusqu'à maintenant en France.

Dans des cas spécifiques où la ouate de cellulose a été posée, par exemple, récemment ou insufflée dans des caissons permettant de limiter sa dégradation ou l'incrustation de saletés, il pourrait être envisageable de déposer soigneusement la ouate de cellulose en vue de son réemploi dans le même usage. Ce scénario est donc à étudier lors des réhabilitations et déconstructions.

Les pistes de réflexion concernant le recyclage en boucle fermée ou en boucle ouverte sont nombreuses. C'est la faisabilité (technique et économique) qui, ici, est remise en cause dans le cadre de ces scénarios.

Les gisements en fin de vie seront par ailleurs assez disparates au niveau national. Un des enjeux pour constituer une filière de recyclage spécifique dédiée à la ouate de cellulose sera la disponibilité de la ressource. Elle sera nécessairement variable à un instant T. L'autre enjeu important concerne le transport. Comme on l'a vu, la ouate de cellulose possède une faible densité. Aussi, son transport sera donc nécessairement un frein. Le recyclage nécessitera des installations de proximité, c'est-à-dire à minima régional.

Sur les modes de valorisation, une des contraintes concerne la présence de sel de bore, même en faible quantité. À ce stade, nous avons décidé de ne pas retenir les pistes liées à une valorisation dans le domaine agricole. Une des questions pour aller plus loin serait de voir s'il est possible de séparer le sel de bore du reste de la ouate de cellulose.

D'après ces premiers constats, le scénario alternatif à l'enfouissement qui est le plus « vraisemblable » est la valorisation énergétique. Dans ce cas, il y a les filières déjà existantes comme l'incinération ou la fabrication de CSR. Pour aller plus loin, d'autres techniques à venir, telle que la gazéification, pourraient être un traitement plus dédié à ces types de matériaux en fin de vie.

Dans le cadre de nos travaux, c'est sur quoi l'équipe IMT Atlantique a travaillé et a approfondi les analyses en laboratoire.

8. Etude des scénarios en fin de vie de l'isolant à base de textiles recyclés

8.1. Méthodologie

Des entretiens ont été menés avec différents acteurs de la filière textile recyclé pour réaliser un état des lieux de leur activité, mais aussi pour obtenir des informations sur les fins de vie actuelle et envisageable de leur matériau, ainsi que sur les freins et leviers qui y sont associés.

Les personnes qui ont été interviewées sont les suivantes :

- Entretien n°1 : Stéphane Bailly, référent technique bâtiment pour Métisse et secrétaire de l'AICB, le 26/02/2021
- Entretien n°2 : Lubin Sacquet, directeur commercial et marketing de Buitex, le 09/03/2021

Les informations fournies par les fabricants ont été complétées par des entretiens auprès de déconstructeurs, collectifs d'architectes, entreprises du bâtiment. Ces entretiens portaient sur l'ensemble des isolants bio-sourcés.

8.2. Contexte de la filière isolant à partir de textiles recyclés

8.2.1. Contexte

La production de panneaux et rouleaux isolants composés en majorité de textiles recyclés en France est assurée essentiellement par le Relais. En 2018, un peu plus de 1 000 tonnes de jeans ont été valorisées dans la fabrication du Métisse, soit environ 500 000 m² d'isolant en équivalent 100 mm d'épaisseur.

Les différentes étapes de fabrication sont les suivantes :

- Tri du textile recyclé dans de nombreux sites en France,
- Préparation de la matière en usine, notamment grâce à un processus d'effilochage,
- La matière subit ensuite les étapes suivantes : ouvrason, nappage, thermofusion, et coupe.
- Puis la matière est conditionnée en fonction des différents modes d'application.
- Les produits finis subissent un contrôle qualité.

La carte ci-après présente les points de regroupement, tri des déchets textile en France tenus par le Relais et les usines de fabrication de l'isolant métisse actuellement.

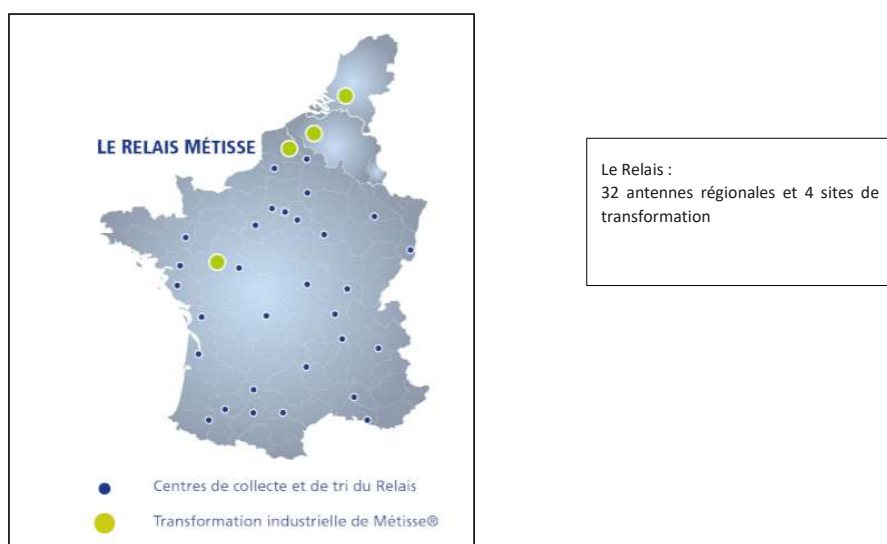


Figure 19 : Centres de collecte et de tri du Relais et centre de transformation industrielle de Métisse

L'usine de fabrication du métisse a été ouverte en 2012 et se situe dans le Pas-de-Calais, sur le territoire d'Artois Flandres à Billy-Berclau. L'usine a nécessité un investissement de 3,5 millions d'euros.

Au niveau de la distribution, Métisse® est distribué dans **300 points de vente** en France et au Bénélux.

8.2.2. Plusieurs références au niveau national et en Belgique (source le Relais)

- Entrepôts logistiques et bâtiments tertiaires : entrepôts d'ID-Group (2008), Natural Positive Building d'Houdan (2008), centre de traitement des déchets ménagers de la Ville de Fougère (2009), centre de formation professionnelle des Apprentis d'Auteuil de Loos-en-Gohelle (2013).
- Etablissements Recevant du Public (ERP) : espace Jeunesse de la Montagne (2011), Maison de la Science de l'ENSAIT de Roubaix (2012), Maison de l'habitat durable de Lille (Ville de Lille – 2013),
- Logements sociaux : Cour Remmery à Roubaix (2009), logements intermédiaires BBC à Pacé (Aiguillon Construction R 2013) • Habitats individuels : constructions basse consommation Villavenir à Loos-en-Gohelle – 2008

8.2.3. Techniques de mise en œuvre

Les vieux textiles usés sont transformés et utilisés en :

- cotons en vrac à souffler pour l'isolation thermique et acoustique des combles perdues ;
- panneaux semi-rigides et rouleaux pour l'isolation thermique et acoustique des murs, des sous toitures et des planchers ;
- panneaux pour l'affaiblissement et la correction acoustique visant à absorber jusqu'à 95 % des sons et à diminuer les phénomènes de résonnance dans les espaces intérieurs (Métisse® [eko] baffle, nouveaux débouchés en lancé en 2012 par Le Relais).

Le volume total d'isolants fabriqués en France à partir de textile recyclé est estimé entre 2 000 et 3 000 tonnes par an dont 1 000 t/an en vrac et 1 000 à 2 000 t/an sous formes de panneaux. Cette estimation n'inclut pas les volumes de production d'isolant mixte

Des projets de R&D en cours, présentés dans les éditions 2015, 2016 et 2019 des « Chemins de l'innovation » (rapport annuel publié par Eco-TLC) et qui pourraient aboutir à l'émergence de nouvelles applications pour le recyclage textile dans la construction :

- Un écran d'isolation phonique extérieur en béton léger incorporant des fibres de textile usagé (Projet Viacover lancé par l'entreprise Framimex depuis 2012),
- Des panneaux d'isolation acoustique à base de textile recyclé et servant d'éléments de décoration intérieure (par Prémices and co.),
- Des dalles de faux plafond acoustique en textile recyclé sont toujours en phase de test par Le Relais (Hardy, 2018),
- Un panneau isolant acoustique design et résistant au feu (Wecosta),
- De nouveaux isolants bio-sourcés et des pares-feux et pare-vapeur (par l'école d'ingénieurs HEI de Lille et Soprema).

8.2.4. Retour d'expérience FDES

La durée de vie des isolants à base de textiles recyclés est d'environ 50 ans. Arrivés en fin de vie, ces isolants peuvent être réutilisés (FDES Coton FRP, 2018). En fin de vie, le scénario des déchets de Métisse RT est la mise en décharge (FDES Métisse, 2015). Il n'existe pas d'autres FDES.

8.2.5. Premières conclusions

Les isolants à base de textile recyclé sont des matériaux adjuvantés. Certains contiennent également des fibres plastiques (polyesters et acryliques). La production française est d'environ 2 000 à 3 000 tonnes par an, mais 10 000 t de textiles seraient exploitables. Leur fin de vie est peu documentée. La FDES indique l'enfouissement comme scénario en fin de vie. Les filières comme le réemploi, la réutilisation, le recyclage et la valorisation énergétique sont des solutions envisageables.

8.3. Réalisation des entretiens

8.3.1. Dépose sélective

8.3.1.1. Retour expériences

Les isolants à base de textiles recyclés sont encore peu rencontrés sur les chantiers de déconstruction car ils n'ont été mis sur le marché que récemment : 2010 pour la formulation actuelle du Métisse, et 2014 pour le Cotonwool en vrac de Buitex. C'est aussi ce qu'observe les retours d'expériences des opérateurs de la déconstruction, comme Nantet Recyclage par exemple.

Néanmoins, L'entreprise Métisse a déjà une première expérience sur un chantier local où elle a récupéré les chutes de chantier sur un projet de construction pour les réintégrer dans le process. Plusieurs modalités ont été mises en œuvre afin de récupérer proprement et soigneusement les chutes de Métisse. Les constructeurs ont été formés au préalable. Une benne couverte à l'abri de la pluie a été mise en place afin de récupérer les chutes qui ont été réintroduites dans le process. Mais cette réintroduction n'était pas simple : les opérateurs devaient vérifier que lors de la réintroduction, les chutes n'allaient pas abîmer les lignes et que les panneaux créés à partir des chutes étaient bien affectés au chantier.

8.3.1.2. Contraintes sur les chantiers de déconstruction

D'après nos échanges avec les déconstructeurs, la première étape nécessaire pour la mise en place d'une filière est l'étape d'identification de l'isolant.

Chaque fabricant d'isolant à base de textiles recyclés utilise une formulation qui lui est propre et qui est confidentielle. En plus de la formulation, la composition de la matière première issue de vêtements usagés peut-être variable en fonction du gisement.

A ce jour, les déconstructeurs indiquent la difficulté d'identifier simplement la provenance d'un isolant textile sur un chantier de déconstruction.

Il peut s'agir d'un frein pour la mise en œuvre d'un scénario de recyclage en boucle fermée, car les fabricants seraient frileux sur la reprise d'un produit d'un autre fabricant, ne connaissant pas précisément sa composition.

Il y a donc un problème d'identification et de traçabilité de l'isolant employé.

De plus, la dépose soignée des isolants demande un temps plus conséquent qu'une dépose classique, ce qui peut s'avérer problématique sur des chantiers aux délais restreints et qui entraîne également un surcoût direct pour la maîtrise d'ouvrage qui porte le projet de déconstruction.

Même si le matériau est suffisamment propre pour envisager une dépose soignée en vue de réutilisation ou de recyclage, il peut être pollué par des poussières de plâtre et d'autres indésirables au cours du chantier de déconstruction. Les opérateurs de déconstruction doivent être vigilants.

8.3.2. Modalités techniques de dépose sélective

Le tableau ci-dessous précise les modalités techniques possibles pour récupérer les isolants en fin de vie :

Modalités pour la déposé	Vrac	Panneaux/Rouleaux
Mode de dépose	Plusieurs possibilités, à la pelle ou aspiration	Dépose manuelle Un guide de mise en œuvre des produits comprenant la méthode pour la dépose à destination des artisans est en préparation pour le Métisse (SB)
Technique de dépose	Aspiration avec une machine dédiée à cet usage (souffleuse). Le petit tuyau raccordé à la sortie vers un sac de réception et le grand tuyau relié à l'aspirateur qui remonte jusque dans les combles. Le tuyau d'aspiration peut passer par un trou réalisé par	Il faudra mettre l'isolant manuellement dans des sacs de taille adapté




	l'enlèvement d'une ou 2 tuiles, lorsque la toiture est en tuiles.	
<u>Modalités pour la déposé</u>	<u>Vrac</u>	<u>Panneaux/Rouleaux</u>
Complexité de la dépose	 A la pelle : faisable, mais long et fastidieux  Aspiration mécanique	 Facile
Outils nécessaires	Aspirateur spécifique dédié à cet usage ou machine à souffler l'isolant	Pas d'outil spécifique
Conditionnement	Mise en big-bag	Mise en sacs ou big-bags
Limites	« Pollution » par laine de verre : possibilité de séparer les couches si bicouches et de récupérer que la couche supérieure Pollution par produits divers type morts aux rats, insecticides ... Nuisibles	

Tableau 39 : Modalités techniques de dépose de l'isolant à base de textiles recyclés

8.3.3. Transport et stockage

8.3.3.1. Contraintes liées au transport

Les fabricants s'interrogent sur le coût de transport de la matière. En effet, deux caractéristiques des isolants textiles recyclés le compliquent :

- L'isolant à base de textiles recyclés est un matériau de faible densité : environ 2 kg/m² (SB)
- Le gisement est diffus

Les isolants représentent donc des volumes importants pour des tonnages faibles, et leur collecte nécessite de parcourir de longues distances. Cela augmente le coût économique et environnemental de leur fin de vie. Il y a donc un compromis à trouver entre la minimisation des distances de transport et l'accès à un tonnage suffisant pour assurer la viabilité économique. Les innovations en termes de compactage ou pressage pourrait être un plus pour la filière.

8.3.3.2. Contraintes liées au stockage

Le volume important d'isolant en textiles recyclés est également problématique pour son stockage. Beaucoup d'enseignes ne sont pas prêtes à récupérer ce matériau essentiellement pour des raisons de logistique et de stockage (LS). Une solution pourrait être d'en confier la gestion à un éco-organisme (SB).

Tout au long du processus, le textile devra être conservé au sec et le plus proprement possible, pour éviter sa pollution par des indésirables.

8.3.4. Modes de valorisation

8.3.4.1. Réemploi dans le même usage

D'après les entretiens menés, le réemploi en l'état, sous réserve, que l'isolant ne soit pas « pollué » et qu'il soit en bon état, semble la solution la plus pertinente. Le réemploi direct ou local serait également intéressant, pour des raisons logistiques. Cependant, comme nous le décrivons dans le chapitre 4 de la synthèse technico-économique, le réemploi implique de vérifier plusieurs caractéristiques du matériau en fin de vie, dont l'impact du vieillissement de l'isolant pour vérifier ses performances. Les freins à lever pour démontrer le réemploi possible des isolants sont nombreux mais une liste de critères et protocoles permettant de définir et s'assurer les cas où l'isolant a été conservé dans de bonnes conditions pourraient permettre aux structures de réemploi en plein développement à identifier facilement les gisements potentiels à cette filière.

8.3.4.2. Réintroduction des produits en fin de vie dans le process

Le vrac est plus facile à réintroduire dans le process, car il n'y a que des fibres de coton, contrairement aux panneaux et rouleaux qui contiennent du polyester. S'il n'est pas contaminé par de la laine de verre, il est donc possible de le réutiliser pour produire des panneaux (SB & LS).

Milorecyclage réalise l'effilochage pour le groupe Le Relais, et Métisse. Les bords de lèse sont déjà renvoyés dans le process. (SB)

Il est possible de défibrer les plaques et les rouleaux, c'est-à-dire de séparer les fibres de coton du polyester. Cependant, il ne serait peut-être pas possible de les réutiliser dans le process pour faire de l'isolant car l'acteur mentionne des doutes sur l'atteinte des tests de performance dans ce cas. (SB)

8.3.4.3. Recyclage en panneaux rigides pour l'industrie automobile

Métisse et Buitex travaillent tous les deux au développement d'une filière de recyclage de leurs isolants en panneaux rigides pour l'industrie automobile. D'après Stéphane Bailly, les sels d'aluminium pourraient poser problème.

8.3.4.4. Valorisation énergétique

Les poussières compactées du métisse sont déjà valorisées en tant que CSR. Les cimentiers peuvent être intéressés par des produits contenant des retardateurs de flamme, car cela permet de rester dans la gamme de PCI et de ne pas abîmer les grilles. (SB)

8.3.4.5. Autres solutions

Ouatéco, fabricant de Filéco, mène actuellement des recherches pour recycler son isolant en fin de vie en paillage pour les cultures et en briquettes de décoration.

Cela impliquerait qu'il n'y ait pas de traitement anti-feu, c'est-à-dire absence de produits sans traitement PCF.

Le transport et le stockage est un frein majeur à la mise en place de filières de valorisation spécifiques aux isolants textiles en fin de vie. Stéphane Bailly (Métisse) évoque la possibilité de s'appuyer sur la responsabilité élargie des producteurs via un éco-organisme agréé qui pourrait gérer le stockage et la logistique. Ces points sont traités dans le document nommé synthèse technico-économique.

8.4. Bilan / Principaux résultats obtenus

À partir des restitutions des enquêtes, cette partie approfondit deux approches :

- la première a pour objectif d'identifier les étapes de la déconstruction, pour évaluer la difficulté de mise en œuvre de la déconstruction. Il s'agit de décrire les actions pour chaque étape, de noter les outils nécessaires et d'estimer la pénibilité de ces travaux.
- La seconde partie aborde les domaines d'emploi de la valorisation des fins de vie des matériaux en textiles recyclés. Il s'agit d'évaluer et d'identifier les acteurs, les conditions et les nouvelles utilisations.

Pour l'évaluation de la complexité des opérations de dépose, les critères sont :

- l'équipement / outillage
- travail physique / pénibilité
- durée de la déconstruction
- difficulté technique

Chacun d'entre eux sont définis sur 4 niveaux (1,2,3,4) selon les éléments présentés dans le tableau suivant :

Faisabilité de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage	Outillage classique / dans une boîte à outils	Outillage utilisé par les professionnels	Outillage demandant des qualifications spécifiques	Outillage d'expert
Effort physique / pénibilité	Légère Manutention	Transport de charge	Manutention et transport de charge	Equipe d'expert

Durée par rapport à une dépose classique	Même durée que la mise en oeuvre	2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 2 fois plus long que la mise en oeuvre	Plus de 4 fois plus que la mise en oeuvre
Difficulté technique	Connaissance en bricolage	Connaissance technique	Qualification requise	Qualification experte

Tableau 40 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose

8.4.1. Dépose de l'isolant en textiles recyclés en vrac

8.4.1.1. Techniques de dépose sélective du vrac

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose du vrac, les moyens nécessaire et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
1 - Technique manuelle	<ul style="list-style-type: none"> Petite pelle Gants Nécessite des EPI Sacs de conditionnement ou big-bag 	–	Long
2 - Technique par aspiration	<ul style="list-style-type: none"> Aspirateur spécifique Nécessite des EPI Sacs de conditionnement ou big-bag 	Électrique	Faible : nécessite un équipement spécifique

Tableau 41 : techniques de dépose du vrac recyclé

8.4.1.2. Evaluation des techniques

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective par technique d'aspiration. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

8.4.2. Dépose des textiles recyclés en panneau ou en rouleau

8.4.2.1. Les techniques de dépose sélective en panneau ou en rouleau

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose des isolants sous forme de panneaux ou rouleaux, les moyens nécessaires et les contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action n°1 : Dégrafer le panneau/rouleau	<ul style="list-style-type: none"> • Tournevis plat 	<ul style="list-style-type: none"> • Humaine 	
Action n°2 : Rouler ou empiler l'isolant	<ul style="list-style-type: none"> • Manuellement 	<ul style="list-style-type: none"> • Humaine 	

Tableau 42 : techniques de dépose du panneau/rouleau en textiles recyclés

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective du panneau ou rouleau par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Équipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

En conclusion, sur cette partie, dans le cas d'une pose en vrac, la dépose sélective ne pose pas de problématique technique forte dans le cas où l'entreprise ou l'artisan utilise un système d'aspiration. Dans le cas d'un chantier sur maison individuelle, si le particulier réalise lui-même la tâche de dépose, le travail est faisable mais plus pénible car elle nécessite de récupérer à la pelle l'isolant.

Dans le cadre d'une mise en œuvre en rouleau, la dépose sélective ne pose pas vraiment de problème car les rouleaux peuvent être enroulés, lié par une cordelette pour leur stockage et transport ensuite.

8.4.3. Les différents modes de valorisation

Les scénarios envisagés alternatifs à l'enfouissement pour la valorisation en fin de vie des isolants en textiles recyclés sont les suivants :

- Réemploi/réutilisation
- Recyclage en boucle fermée
- Recyclage en boucle ouverte
- Valorisation énergétique

Dans les tableaux ci-après nous mesurons la faisabilité des scénarios à partir de différents critères. Nous avons établi plusieurs critères qui peuvent impacter la mise en œuvre du scénario. Nous avons évalué chaque critère grâce à un code couleur de 4 niveaux qui permet d'établir la faisabilité et la mise en œuvre du scénario. Le code couleur est présenté ci-après

Légende	Pas de contrainte	Faible contrainte / vigilance	Contrainte moyenne	Contrainte forte

8.4.3.1. Scénario 1 : Réemploi/réutilisation

Le tableau ci-dessous évalue la faisabilité du scénario « réemploi/réutilisation » en analysant sa mise en œuvre sur différents critères présentés dans la première colonne de gauche :

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Les acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> Le réemploi mobilise de nombreux acteurs : Le maître d'ouvrage souhaitant réutiliser pour la nouvelle construction Les entreprises de déconstructeurs / entreprises du bâtiment Les structures du réemploi, par exemple acteurs de l'ESS (économie sociale et solidaire) 	
Dépose sélective soignée / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faisable mais demande d'établir des recommandations claires sur les étapes à mener pour reconnaître si l'isolant est bien réemployable 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Plutôt limité, s'envisage plutôt localement, voir directement réutilisé par le maître d'ouvrage si cela est possible 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Le réemploi de l'isolant pour un même usage nécessite une consommation faible en énergie. Il n'y a pas de transformation du produit. 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Il n'y a pas de retour d'expériences car l'utilisation de ces isolants est trop récente. Se pose la question de l'utilité du réemploi de l'isolant par rapport à la ressource disponible de textiles déjà abondants. Pas de contrainte sur la ressource actuellement. Se pose la question d'une clientèle intéressée par ses produits : ménages principalement Demande de contrôler la performance des matériaux en fin de vie si clientèle autre que les ménages 	
Synthèse Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable selon les modes constructifs et dans des cas spécifiques de certains chantiers : nécessite de définir la liste des critères et protocole pour évaluer l'état des matériaux en fin de vie 	
Synthèse Freins	<ul style="list-style-type: none"> Nombreux freins dont difficulté à s'assurer des performances, fiabilités et qualité suffisante de la matière récupérée, laissant à penser que la qualité d'isolation est préservée 	
Pertinence du scénario / recommandations	<p>Nombreux freins existent pour démontrer le réemploi comme filière majeure des isolants textiles recyclés en fin de vie. Cependant, cette filière doit être envisagée dans certains cas et s'appuyer sur la chaîne d'acteurs du réemploi en cours de développement. Il faut définir les critères de sélection et protocole pour identifier les produits réemployables. Cela permettra aux acteurs de reconnaître facilement les conditions d'un réemploi potentiel. Les nouveaux outils, développés dans le document nommé synthèse technico-économique sont des outils qui permettront d'aider le développement de cette filière car il permettra de mieux identifier les produits. Ce scénario pourra se rencontrer dans des cas spécifiques dans un certain mode de construction qui n'a pas impacté les performances et la qualité de l'isolant.</p>	

Tableau 43 : Faisabilité du scénario réemploi du textiles recyclés

8.4.3.2. Scénario 2 : Recyclage en boucle fermée en réintroduisant l'isolant vrac dans pour la production de panneaux

Le tableau ci-dessous évalue la faisabilité du scénario « recyclage en boucle fermée » en analysant sa mise en œuvre sur différents points :

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	Le recyclage en boucle fermée mobilise principalement les acteurs suivants : <ul style="list-style-type: none"> Fabricants de textiles recyclés Déconstructeurs Transporteurs/Opérateurs déchets 	
Dépose sélective soignée / tri spécifique / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faisable mais demande d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Retour en usine de fabrication Echelle nationale 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite un effilochage de la matière. Préparation de la matière non connue 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> Nouvelle fabrication permet d'établir les nouveaux tests de performance / qualité Economie de ressources 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Envisageables selon les modes constructifs BIM et diagnostic PEMD pour connaître les produits. Mutualisation possible avec les collectes de la ressource : vêtement recyclé dans les circuits du relais Dispositif Responsabilité Elargie des Producteurs à venir 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> Gisement en fin de vie faible Questionnements sur la qualité suffisante de la matière récupérée Difficulté d'identification des produits + opacité de la composition Coût économie : Transport, Stockage 	
Pertinence et recommandations	Réflexion à développer sur une filière envisageable. À l'heure actuelle, les freins semblent nombreux.	

Tableau 44 : Faisabilité du scénario recyclage en boucle fermée de textiles recyclés

8.4.3.3. Scénario 3 : Recyclage en boucle ouverte pour panneaux rigides dans l'industrie automobile

Le tableau ci-dessous évalue la faisabilité du scénario « recyclage en boucle ouverte » en analysant sa mise en œuvre sur différents points :

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau : maître d'ouvrage, déconstructeurs, opérateurs de gestion des déchets 	
Dépose sélective soignée / tri spécifique / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Faisable dans certains cas selon les modes constructifs mais demande d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> Apport en usine automobile Echelle nationale, voire internationale 	
Transformation/ Consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> Non connue 	
Valorisation/ impact écologique	<ul style="list-style-type: none"> Nouvelle fabrication permet d'établir les nouveaux tests de performance / qualité Economie de ressources 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Envisageables selon les modes constructifs 	
Freins	Nombreux freins. En plus de ceux cités ci-dessus <ul style="list-style-type: none"> Présence de sels d'aluminium 	
Pertinence / recommandations	Scénario en cours de réflexion par les fabricants d'isolants et les industriels automobiles	

Tableau 45 : Faisabilité du scénario recyclage en boucle ouverte du textiles recyclés

8.4.3.4. Scénario 4 : Valorisation énergétique

Le tableau ci-dessous évalue la faisabilité du scénario « valorisation énergétique » en analysant sa mise en œuvre sur différents points :

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	Les acteurs sont des acteurs classiques de la gestion des déchets. Il n'y a pas de contrainte relevée sur ce scénario <ul style="list-style-type: none"> Déconstructeur Transporteur/Opérateur déchets Cimentier / fabricant et utilisateur de CSR 	
Dépose sélective soignée / tri spécifique / conditionnement	L'isolant peut être collecté sélectivement ou en mélange dans le cas d'une valorisation énergétique en UVE ou CSR. S'il est collecté en mélange, il est conseillé qu'il soit envoyé vers un centre de tri avec préparation d'un flux pour valorisation énergétique.	
Transport / logistique	Ce scénario permet de traiter le déchet en fin de vie à l'échelle départemental ou régional.	
Transformation/ Consommation d'énergie	Ce scénario entraîne des consommations d'énergie liées au transport et à la préparation du déchet, notamment s'ils doivent être broyés selon un cahier des charges spécifique.	

Débouchés potentiels	Capacités des débouchés en développement <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation énergétique classique 	
Opportunités	<i>Présence de retardateur de flamme, ce qui peut intéresser les cimentiers pour rester dans la gamme de PCI</i>	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de freins sur la valorisation énergétique classique • Réflexion à pousser sur la valorisation énergétique de type pyrogazéification, notamment sur le réseau d'installations 	
Pertinence / recommandations	Ce scénario semble majoritaire dans sa mise en œuvre à la situation actuelle. Pour la pyrogazéification, le développement dans les années à venir de la filière est à surveiller	

Tableau 46 : Faisabilité du scénario valorisation énergétique du textiles recyclés

8.5. Conclusions

Plusieurs pistes de réflexion concernant la valorisation des produits sont en cours auprès des fabricants.

Dans des cas spécifiques et notamment s'il n'y a pas eu de dégradation du produit pendant son utilisation, le réemploi dans le même usage pourrait être un débouché possible. Ce scénario nécessite cependant le respect d'exigences réglementaires fortes afin d'être remis sur le marché. Ce scénario pourrait être approfondi dès l'apparition des premiers chantiers en fin de vie. L'objectif pourrait être de caractériser la matière en fin de vie afin de vérifier son état dans les différentes conditions de mises en œuvre et les capacités à récupérer soigneusement les matériaux.

Les fabricants travaillent sur des opportunités de recyclage. Sur ce scénario, il apparaît un frein majeur qui est la logistique, notamment en boucle fermée ou il existe seulement deux usines de fabrication en France. L'autre frein est lié à la volonté du fabricant de récupérer uniquement ses propres produits, ne connaissant pas précisément la composition des produits des autres fabricants. Le recyclage en boucle ouverte est à creuser également. Les projets sont au stage R&D. Le frein ici majeur sera les quantités de ressources à un instant T qui sera variable en fonction du nombre de chantier de réhabilitation ou déconstruction. Le montage d'une filière industrielle nécessite souvent une homogénéité dans le temps des approvisionnements. Cela peut cependant ne pas être un frein si les approvisionnements viennent de multiples apports issus également d'autres secteurs.

Ces premiers constats montrent que le scénario alternatif à l'enfouissement le plus « vraisemblable » est la valorisation énergétique. Dans ce cas, il y a les filières déjà existantes comme l'incinération ou la fabrication de CSR.

Pour aller plus loin, d'autres techniques à venir, comme la pyrogazéification pourrait être un traitement plus dédié à ces types de matériaux en fin de vie.

C'est sur quoi dans le cadre du projet VALO-MAT-BIO, l'équipe IMT Atlantique a travaillé et a approfondi les analyses en laboratoire.

9. Etude des scénarios en fin de vie de l'isolant à base de fibres de bois

9.1. Méthodologie

Les entretiens se sont concentrés sur deux approches

- Entretien en visioconférence avec la société Isonat, représentée par Blaise Dupré, directeur du centre de recherche Isolation Biosourcé à Isonat depuis deux ans (St Gobain depuis 2017), il a effectué une thèse de doctorat sur la valorisation des coproduits du lin dans les matériaux de construction, génie des procédés à l'Université de Picardie Jules Verne.
- Entretien téléphonique avec M. François Magueur de l'entreprise Soprema, chef de marché produits biosourcés.

9.2. Contexte de la filière isolant fibre de bois

9.2.1. Historique (extrait du rapport intermédiaire n°1)

Depuis plus d'une décennie, la laine à base de fibres de bois connaît un nouveau marché et commence à être commercialisée sous formes de panneaux à base de fibres et coupeaux pour béton.

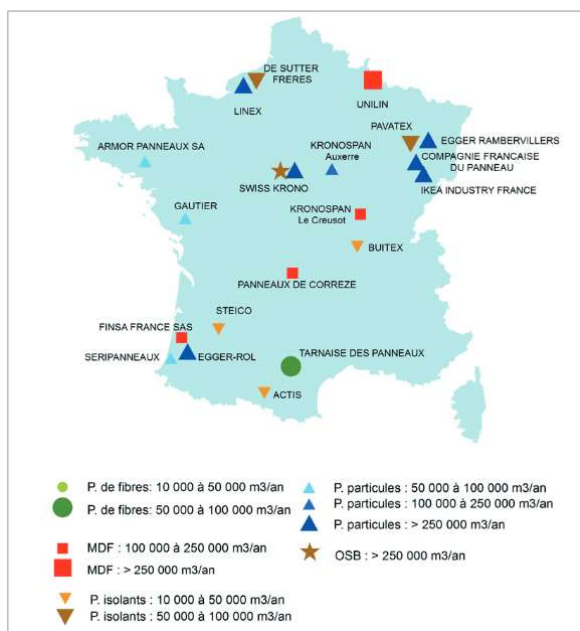
Sur le marché français, les trois acteurs majeurs sont le groupe allemand Steico et les sociétés françaises Soprema et Isonat SA et seules trois entreprises sont françaises : Isonat SA (anciennement Buitex), Sotextho (marque Fibratur) et Soprema. En 2017, la production française de panneaux en fibre de bois a atteint environ 1 100 000 m³, dont :

- 770 000 m³ de panneaux semi-rigides. Ces panneaux, ayant une densité de 180 kg/m³, cela équivaut à une production d'environ 60 000 à 65 000 tonnes,
- 320 000 m³ de panneaux rigides. Ces panneaux, ayant une densité de 50 kg/m³, cela équivaut à une production de 32 000 à 38 000 tonnes.

En tenant compte des volumes importés et exportés, le volume total de panneaux rigides et semi-rigides vendus en France est 70 000 et 40 000 tonnes par an respectivement (source : Nomadéis, 2017).

D'après le mémento 2019 de la FCBA, cinq usines produisent des panneaux isolants à base de bois :

- De Sutter Frères (76),
- Pavatex (88), racheté par Soprema,
- Steico (33). Il faut souligner que l'usine principale se situe en Pologne,
- Buitex, devenu Isonat (42),
- Actis (11), cependant, il ne semble plus produire d'isolant à base de bois.



9.2.2. Type et mode application

Les systèmes constructifs abordés lors des entretiens sont :

- l'isolation semi-rigide pour l'isolation des combles
- l'isolation rigide ITE pour les toitures
- l'isolation rigide ITE mur

9.2.3. Les produits et leur composition

La fibre de bois en vrac est constituée de produits connexes de bois défibrés à l'état brut à laquelle on ajoute un traitement ignifugeant (sels de bore, ammonium polyphosphate ou sels d'ammonium), fongicide et biocide.

Un liant de composition diverses peut être ajouté selon la fabrication. Ce liant peut être la lignine (voie humide), mais aussi des fibres de polyester ou de polyuréthane, des fibres polyoléfinés (polypropylène, polyéthylène), des fibres textiles (coton, maïs) ou du latex (voie sèche) pour 4 à 25 % de la composition finale du produit (Fibre de bois ou laine de bois—Crépi Centre, s. d.).

Certains panneaux reçoivent un traitement pare-pluie. Ces panneaux sont composés de fibre de bois, de paraffine et de sulfate d'alumine et ainsi sont destinés à l'isolation thermique par l'extérieur (ITE) en toiture et en mur.

9.2.4. FDES et scénario pris pour la fin de vie

Plusieurs FDES sont disponibles :

- Les produits ISONAT présentent l'enfouissement comme fin de vie, après un transport sur 25 km,
- Le panneau d'isolation SOPREMA a une fin de vie à 58% en ISDND (après un transport sur 30 km) et à 42% en UIOM (après un transport sur 50 km).
- La FDES du panneau STEICO retient un mix de scénarios possibles pour leurs produits fin de vie. Le produit est réparti à 57,2 % pour les matériaux de recyclage, à 25,5% pour les déchets subissant un traitement thermique, et à 17,3 % pour les déchets acceptés en décharge. STEICO indique que les produits peuvent réutilisés pour le même usage ou recyclés en divers sous-produits, comme la fabrication de panneaux de fibres agglomérées ou de panneaux de particules, ainsi que la production de paillis (Cecobois | Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois, s. d.). Enfin, Étant donné que

Les panneaux de fibres de bois sont essentiellement du bois naturel sain (sans métaux ou composés organochlorés), s'ils ne sont pas traités en surface, STEICO indique la voie de valorisation énergétique comme voie possible. Le pouvoir calorifique des isolants en fibres de bois STEICO est de 19,3 MJ/kg. La combustion d'une tonne de bois (avec une humidité de 18%) produit environ 1 231 kWh de courant électrique et 2 313 MJ de chaleur utilisable.

- La durée de vie d'un produit d'isolant en fibres de bois est similaire à celle d'un bâtiment, tant que le composant fait partie de l'isolation de celui-ci (souvent fixée à 50 ans par défaut).

9.3. Réalisation des entretiens

Les entretiens se sont focalisés sur les processus de fabrication actuel. Les industriels de la filière développent des projets de R&D sur la composition des liants, en particulier sur leurs évolutions pour réduire l'impact sur l'ACV. Ces projets sont aujourd'hui confidentiels. Les données ici présentées correspondent aux matériaux fabriqués actuellement. Ces données sont susceptibles d'évoluer d'ici 3 à 5 ans.

9.3.1. Modalités techniques de dépose sélective

La fabrication de fibre de bois est récente, il n'y a pas de retour d'expérience.

Il existe deux types de produits :

- Les panneaux semi-rigides : lors de la fabrication des panneaux semi-rigides, lorsqu'ils ne sont pas conformes, ils sont repris dans le processus interne. C'est un liant thermofusible, qui a pour caractéristique de fondre ou de se fluidifier lorsqu'il est soumis à une forte chaleur, qui est intégrée.
- Les panneaux rigides : ces panneaux ne peuvent pas être repris dans le processus interne car c'est une colle de type thermodurcissable, qui fait intervenir une polymérisation, laquelle est irréversible et conduit à un produit fini solide.

Pour les opérations de dépose avec de la fibre de bois, il faut distinguer les systèmes constructifs selon leur appartenance à la « voie sèche » ou « voie humide ». Les tableaux suivants relèvent les commentaires sur la dépose sélective lors des entretiens.

Voie humide (mur ITE)	Voie sèche (isolation comble + ITE toiture + mur ITE bardage)
Support d'enduit, prévoir un décaissage + nettoyage.	Isolation comble + ITI : pas collé, le démontage est aisé . Dépose des plaques de plâtre. Pas de difficulté particulière.
Avec enduit, l'opération est plus compliquée. C'est les enduiseurs qui décrivent le protocole.	Pour le ITE toiture, et mur ITE bardage, c'est facile à démonter , chaque élément est indépendant.
Cela nécessite beaucoup de main d'œuvre.	

Tableau 47 : Modalités de dépose sélective de la fibre de bois

Plusieurs freins ont été observés à une dépose sélective :

- le temps : il faut plus de temps pour le démontage que la pose,
- Des poussières qui ont pu s'accumuler et souiller la matière

Lors du stockage / transport :

- le volume à transporter car la densité est faible
- Poussières pendant le transport

9.3.2. Modes de valorisation

9.3.2.1. Réintroduction des produits en fin de vie dans le process

Les industriels travaillent ces questions dans leurs services de R&D respectifs. Ces données sont confidentielles. Il s'agit de projets innovants (travail sur les liants/colles, etc.) qui se concrétiseront d'ici 3 à 10 ans.

9.3.2.2. Contraintes techniques

Les résultats des projets de R&D sont actuellement confidentiels. Les procédés qui émergent vont développer une nouvelle maturité industrielle. Les travaux se spécialisent sur l'éco-conception des produits en vue de les rendre plus recyclable. Un des objectifs est de développer des colles pour améliorer la recyclabilité des panneaux rigides en fin de vie.

9.3.2.3. Valorisation

- Les fabricants travaillent sur différentes pistes de valorisation suivantes :
 - recyclage (retour à la chaîne de production)
 - la valorisation énergétique,

Selon la maturité industrielle pour d'autres filières, en petit volume (très peu représentatif) :

- matériaux composites (thermoplastique)
- valorisation en horticulture (poussière de bois)
- domaine de la papeterie / papier kraft / carton

9.4. Bilan / Principaux résultats obtenus

À partir des restitutions des enquêtes, cette partie est l'approfondissement de deux approches :

- la première a pour objectif d'identifier les étapes de la déconstruction pour évaluer la difficulté de mise en œuvre de la déconstruction. Il s'agit de décrire les actions pour chaque étape, de noter les outils nécessaires et d'estimer la pénibilité de ces travaux.
- la seconde partie aborde les domaines d'emploi de la valorisation des fins de vie des matériaux en fibre de bois. Il s'agit d'évaluer et d'identifier les acteurs, les conditions et les nouvelles utilisations.

Pour l'évaluation de la complexité des opérations de dépose, les critères sont :

- l'équipement / outillage
- travail physique / pénibilité
- durée de la déconstruction
- difficulté technique

Chacun d'entre eux sont définis sur 4 niveaux (1,2,3,4) selon les éléments présentés dans le tableau suivant :

Faisabilité de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage	Outillage classique / dans une boîte à outils	Outillage utilisé par les professionnels	Outillage demandant des qualifications spécifiques	Outillage d'expert
Effort physique / pénibilité	Légère Manutention	Transport de charge	Manutention et transport de charge	Equipe d'expert
Durée par rapport à une dépose classique	Même durée que la mise en œuvre	2 fois plus long que la mise en œuvre	Plus de 2 fois plus long que la mise en œuvre	Plus de 4 fois plus que la mise en œuvre
Difficulté technique	Connaissance en bricolage	Connaissance technique	Qualification requise	Qualification experte

Tableau 48 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose

9.4.1. Les techniques de dépose sélective sur une pose par voie humide

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose, les outils nécessaires et l'évaluation des contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Décroûter l'enduit	<ul style="list-style-type: none"> Burin Maillet Prévoir sac et engin de manutention type chariot/brouette 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> Travail physique / pénibilité Travail long
Action 2 : Extraire la fibre de bois	<ul style="list-style-type: none"> Enlever chevilles manuellement Parfois les artisans collent les panneaux (contrindiqué) 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> Travail physique Travail long

Tableau 49 : techniques de dépose de la fibre de bois par voie humide

9.4.1.1. Evaluation des techniques

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 50 : Evaluation de la dépose sélective de la fibre de bois par voie humide

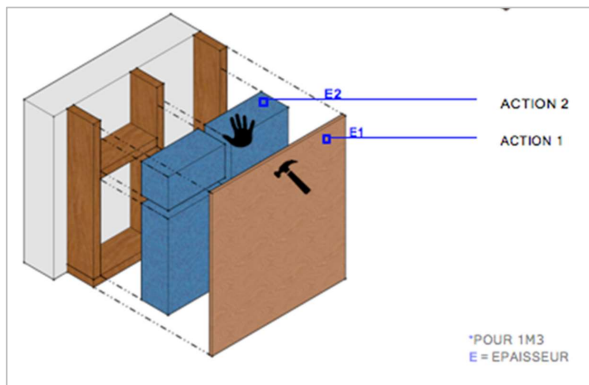


Figure 21 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant – voie humide

La tâche est pénible car le décroûtage est manuel. La durée est longue. Pas de technique mécanique à ce jour

9.4.2. Les techniques de dépose sélective sur une pose en panneau ou en rouleau

Le tableau ci-dessous présente les techniques pour la dépose des isolants sous forme de panneaux ou rouleaux, les outils nécessaires et l'évaluation des contraintes :

Techniques / impacts	Outils/moyens	Énergie	Contraintes
Action 1 : Ouvrir les caissons ou démontage des cloisons	<ul style="list-style-type: none"> Extracteur d'agrafes ou dévissage cloison Démontage de l'ossature secondaire 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	
Action 2 : Extraire les panneaux de fibres de bois	<ul style="list-style-type: none"> manuellement 	<ul style="list-style-type: none"> Humaine 	<ul style="list-style-type: none"> travail physique (moyennement lourd)

Tableau 51 : Techniques de dépose des panneaux/rouleaux

Le tableau ci-dessous évalue la dépose sélective du panneau ou rouleau par technique manuelle. Plus le niveau de la dépose est élevé, plus la faisabilité est complexe voire demande une expertise très spécifique (niveau 4).

Critères / Niveau de la dépose	1	2	3	4
Equipement / outillage				
Travail physique / pénibilité				
Durée				
Difficulté technique				

Tableau 52 : Evaluation de la dépose sélective des rouleaux/panneaux

Le schéma ci-après présente la méthode de déconstruction à appliquer :

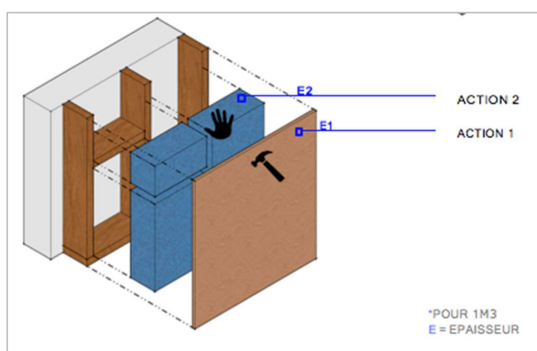


Figure 22 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant en fin de vie – voie sèche

La tâche est plutôt aisée. La problématique est plutôt liée au stockage et conditionnement de la matière après extraction. L'acheminement d'un granulateur sur chantier est en réflexion, mais cela dépendra des quantités à récupérer sur chantier.

9.4.3. Les différents modes de valorisation

Les scénarios pour la valorisation de fin de vie s'orientent vers deux domaines d'emploi :

- le recyclage (retour à la chaîne de production) pour les panneaux semi-rigides (pour les panneaux rigides d'ici 3 à 5 ans)
- valorisation énergétique

Le schéma ci-dessous représente les domaines d'emploi potentiels pour valoriser la fibre de bois en fin de vie.

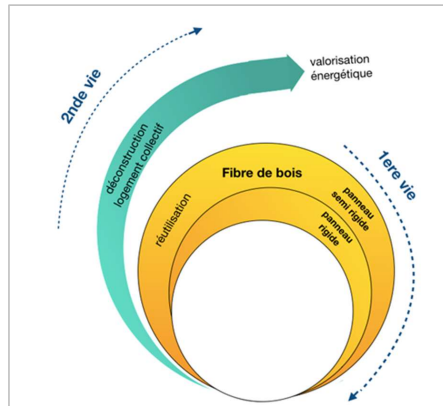


Figure 23 Synthèse des valorisations potentielles des fins de vie

Le schéma ci-après décrit l'acheminement des isolants en fin de vie selon le schéma classique de la gestion des déchets du chantier vers la filière de traitement :

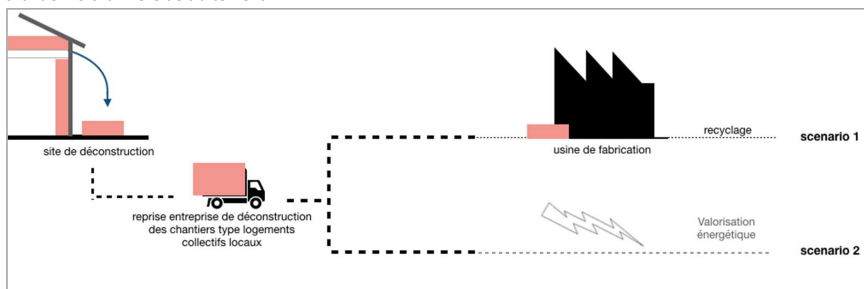


Figure 24 : Schéma d'acheminement des isolants de fibres de bois vers les différents scénarios de valorisation

Dans les tableaux ci-après nous mesurons la faisabilité des scénarios à partir de différents critères. Nous avons établi plusieurs critères qui peuvent impacter la mise en œuvre du scénario. Nous avons évalué chaque critère grâce à un code couleur de 4 niveaux qui permet d'établir la faisabilité et la mise en œuvre du scénario. Le code couleur est présenté ci-après

Légende	Contrainte forte	Contrainte moyenne	Vigilance	Avantageux

9.4.3.1. Scénario 1 : Recyclage

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Déconstructeur • Opérateur du recyclage • Fabricants d'isolant en fibre de bois (panneaux) 	
Dépose sélective soignée / tri spécifique / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Faisable mais demande d'établir des recommandations claires sur le mode opérationnel à tenir 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • A développer en fonction des débouchés • Plutôt élevé si recyclage en boucle fermée 	

Transformation/consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • non connue 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle fabrication permet d'établir les nouveaux tests de performance / qualité • Economie de ressources 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des études complémentaires • Pratique émergente de la dépose sélective • Gisement suffisant pour développer une filière dédiée • Qualité de la matière récupérée 	
Pertinence du scénario / recommandations	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreux freins à l'heure actuelle 	

Tableau 53 : Faisabilité du scénario « recyclage » pour l'isolant à base de fibre de bois

9.4.3.2. Scénario 2 : valorisation énergétique

Organisation	Description des différents points de développement du scénario	Niveau de contraintes
Acteurs concernés par la chaîne de fin de vie du matériau	<ul style="list-style-type: none"> • Déconstructeur • Transporteur/Opérateur déchets • Cimentier / fabricant et utilisateur de CSR 	
Dépose sélective soignée / tri spécifique / conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Non nécessaire / passage en centre de tri 	
Transport / logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Dépend du type de valorisation énergétique. Sur les filières classiques, type incinération ou combustible solides de récupération, le traitement pourra être réalisé à l'échelle régionale. • Sur les nouvelles filières énergétiques innovantes, les installations n'existent pas encore. 	
Transformation/consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de transformation. 	
Débouchés potentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation énergétique classique 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation énergétique réfléchie 	
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • Des filières sont notamment en train de se structurer pour répondre aux enjeux de développement du gaz vert 	
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de freins sur la valorisation énergétique classique • Réflexion à pousser sur la valorisation énergétique de type pyrogazéification, notamment sur le réseau d'installations 	
Pertinence du scénario / recommandations	Ce scénario semble majoritaire dans sa mise en œuvre à la situation actuelle. Pour la pyrogazéification, le développement dans les années à venir de la filière est à surveiller	

Tableau 54 : Faisabilité du scénario « valorisation énergétique » pour l'isolant à base de fibre de bois

9.5. Conclusions

Les fabricants d'isolants en fibres de bois connaissent actuellement une phase de transition dans le mode de fabrication pour améliorer la fin de vie des isolants. Actuellement, de nombreuses recherches portent sur l'élaboration de liants biodégradables pour optimiser les scénarios de fin de vie. Les entretiens menés aujourd'hui dévoilent peu d'information car ces programmes de R&D sont confidentiels. Les résultats actuels gagneront à être mis à jour à partir de 2025. Le montage d'une filière industrielle nécessite souvent une homogénéité dans le temps des approvisionnements. Cela peut cependant ne pas être un frein si les approvisionnements viennent de multiples apports issus également d'autres secteurs. Ces premiers constats montrent que le scénario alternatif à l'enfouissement le plus « vraisemblable » est la valorisation énergétique. Dans ce cas, il y a les filières déjà existantes comme l'incinération ou la fabrication de CSR. Pour aller plus loin, d'autres techniques à venir, comme la pyrogazéification pourrait être un traitement plus dédié à ces types de matériaux en fin de vie. C'est sur quoi dans le cadre de nos travaux, l'équipe IMT Atlantique a travaillé et a approfondi les analyses en laboratoire.

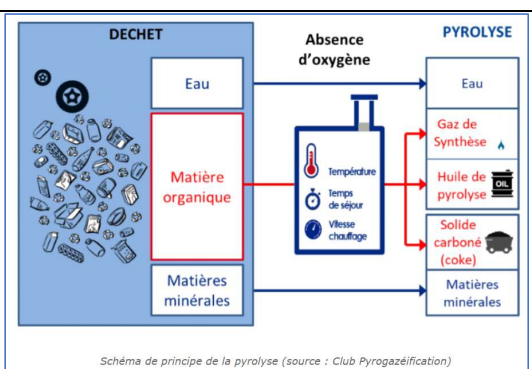
10. Zoom sur le procédé Naoden de pyrogazéification

10.1. Préambule

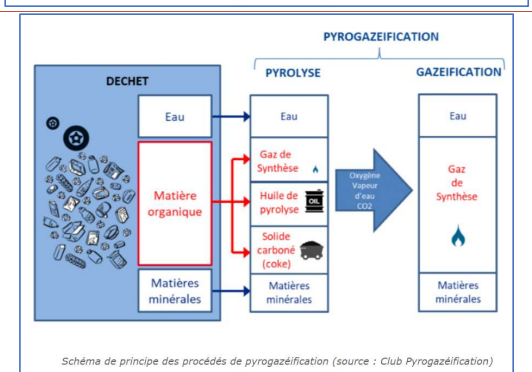
Le travail de l'IMT Atlantique s'est structuré sur les opportunités d'une valorisation énergétique dédiée à partir d'essai en laboratoire de différents types de combustion de type pyrolyse ou gazéification. Les récentes publications sur la pyrogazéification en France montrent des retours d'expériences difficiles et qui ont peu aboutit.

Le chapitre suivant est rédigé à partir des publications de l'ADEME et du réseau ATEE sur cette thématique et des échanges plus approfondis avec la société Naoden. L'Ademe a publié une étude intitulée : Filières Gazéification : Analyses des états de l'Art et recommandations.

Le schéma ci-après, tiré du club sur la pyrogazéification présente le process de traitement de la pyrolyse :



Le schéma ci-après, tiré du club sur la pyrogazéification présente le process de traitement de la pyrogazéification :



10.2. Cahier des charges des intrants

Naoden utilise la gazéification, procédé thermochimique, qui convertit des combustibles solides en un combustible appelé gaz de synthèse (syngaz) composé entre autres d'hydrogène et de méthane.

Naoden nous a transmis le cahier des charges à respecter des entrants. Le tableau suivant récapitule les paramètres à respecter pour pouvoir entrer dans la filière :

Cahier des charges intrant pour UGZ NAODEN		
Type d'intrants	-	Intrant Biosourcé
Humidité	% massique sur brut	10-20
Granulométrie		
Fraction principale x1 (>60% de la masse entrante)	mm	3,15 < x1 < 63 mm, P63 sans fraction grossière
Fraction de fines (<3,15 mm)	% massique	< 10 % de la masse entrante
Dimension maximale	Mm	80
Masse volumique	Kg/m ³	> 170
Teneur en cendre selon NF EN ISO 18122	% massique sec	< 10
Cohérence de la matière	Les différents éléments constituant l'intrant doivent rester indépendant et ne doivent pas se lier les uns aux autres	
Corps étranger	Aucun corps étranger (métaux, pierre, etc.) ne doit être présent sous peine d'endommager la machine	
Validation intrant	L'intrant doit être soumis à approbation de NAODEN même s'il est compatible avec ce cahier des charges	

Tableau 55 : Cahier des charges des intrants du procédé Naoden

10.3. La solution Naoden, une perspective intéressante pour les isolants biosourcés

Naoden propose des solutions alternatives de production d'énergie décentralisée issues de la valorisation de ressources locales. Les équipements et machines sont produites en Région Pays de la Loire. Actuellement, les installations représentent une puissance installée de 3 000 kW sur différents sites en France, équivalent à une dizaine de modules produits par Naoden. Les solutions s'installent chez des industries ayant un process nécessitant des brûleurs en flammes directes ou cherchant de petits modules de cogénération.

Un premier pilote de cogénération de 30 KW électrique installée au sud de Nantes sur les coteaux Nantais. Un second pilote en association avec l'entreprise Kerval, à côté de Saint Brieux qui permet de tester différents types de combustibles. A l'issue du projet de Kerval, Naoden a mis en place de 4 modules de production de gaz de synthèse directement valorisés sur un four sur le site de Bouyer Leroux, fabricant de briques en terre cuite. L'idée est de mettre les différents modules en parallèle pour s'adapter aux besoins de chaque site client.

Les isolants biosourcés en fin de vie sont des déchets qui seront produits sur l'ensemble du territoire national. La solution Naoden, propose des solutions décentralisées. Cela est un point positif pour le développement de petites unités départementales ou régionales qui permettrait de limiter les transports entre les chantiers et les sites de valorisation.

11. Bilan et recommandations

11.1. Bilan sur la dépose sélective

Les scénarios en fin de vie des isolants biosourcés dépendent dans un premier temps de la faisabilité de leur dépose sélective. La dépose sélective des produits et matériaux dans le cadre de travaux de réhabilitation ou déconstruction totale est un métier émergent, aujourd'hui nommé : valoriste. Son développement est une condition sine qua non du développement des filières de réemploi, tri et recyclage des déchets en fin de vie.

L'étude montre aussi que la déconstruction sélective sera possible si la réflexion est portée dès la conception des projets. Les conditions et modalités de pose influencent la dépose sélective et la qualité/performance de l'isolant en fin de vie. Les techniques de pose en caisson ou en ossature bois présentent une plus forte potentialité au réemploi et au recyclage.

Il est important également de communiquer auprès des entreprises du bâtiment, notamment en déconstruction, afin d'améliorer la reconnaissance des produits.

Les temps de dépose sélective dépendent également des techniques de pose. Si la pose a été réalisée en voie humide, il est nécessaire de séparer l'enduit de la matière isolante. À ce jour, les techniques envisagées sont manuelles ce qui impactera le coût de la dépose sélective à la hausse. La mise en œuvre de grilles/filets entre l'enduit et l'isolant sont des solutions simples qui pourraient permettre de faciliter la dépose.

Il s'agit de penser une architecture réversible, qui anticipe de futurs usages avec des stratégies de conception qui prévoient des extensions, réaménagement et changement d'usages.

Pour les isolants en vrac, les entretiens ont montré l'existence de moyens mécanisés permettant de récupérer sélectivement l'isolant par aspiration. On parle de kit de dépose à mettre en place directement sur les cardeuses (souffleuses) utilisées dans au moment de la pose. On récupère ainsi l'isolant vrac dans des big-bags ou des sacs plus importants. La récupération sans indésirables demandent une vérification en amont de l'état de l'isolant.

11.2. Bilan pour le développement des scénarios alternatifs à l'enfouissement

Plusieurs pistes de réflexion concernant la valorisation des isolants biosourcés sont en cours auprès des fabricants.

Dans des cas spécifiques et notamment s'il n'y a pas eu de dégradation du produit pendant son utilisation, le réemploi dans le même usage pourrait être un débouché possible. Ce scénario nécessite cependant le respect d'exigences réglementaires fortes afin d'être remis sur le marché. Ce scénario pourrait être approfondi dès l'apparition des premiers chantiers en fin de vie. L'objectif pourrait être de caractériser la matière en fin de vie afin de vérifier son état dans les différentes conditions de mises en œuvre et les capacités à récupérer soigneusement les matériaux.

Les fabricants travaillent sur des opportunités de recyclage, notamment pour la ouate de cellulose par exemple. Sur ce scénario, il apparaît un frein majeur qui est la logistique, notamment en boucle fermée car il existe peu d'usines de fabrication. L'autre frein est lié à la volonté du fabricant de récupérer uniquement ses propres produits. Le recyclage en boucle ouverte reste à creuser également. Les projets sont au stade R&D. On observe à l'heure actuelle peu de tension sur les ressources liées à la fabrication de l'isolant biosourcée, qui sont déjà liées à la récupération de déchets en fin de vie comme pour le textile ou la ouate.

Le montage d'une filière industrielle nécessite aussi souvent une homogénéité dans le temps des approvisionnements. Les gisements à venir de certains isolants restent faibles à l'échelle du développement d'une filière nationale. Cela peut cependant ne pas être un frein si les approvisionnements viennent de multiples apports issus également d'autres secteurs.

Ces premiers constats montrent que le scénario alternatif à l'enfouissement le plus « vraisemblable » est la valorisation énergétique. Dans ce cas, il y a les filières déjà existantes comme l'incinération ou la fabrication de CSR. Pour aller plus loin, les travaux de l'IMT Atlantique vont étudier l'opportunité pour ces isolants biosourcés de rejoindre une filière de pyrogazéification en lien avec la politique énergétique nationale et le développement d'énergie verte.

11.3. Recommandations en vue de privilégier le réemploi des isolants en fin de vie

L'étude montre un potentiel sur le réemploi et la réutilisation des isolants en fin de vie dans des cas spécifiques. Cette filière peut être privilégiée dès que les techniques de mise en œuvre permettent de garder une bonne qualité des isolants. Les pratiques émergentes concernant cette filière et notamment la reconnaissance des produits mis en œuvre sont des outils permettant le développement de cette filière. Pour un développement plus important de cette filière, des études complémentaires de performances en fin de vie des isolants sera nécessaire.

- Sensibiliser auprès des artisans et entreprises du bâtiment au moment de la construction : sur la bonne mise en œuvre des produits, notamment en termes de densité des produits, en ajoutant aux arguments la conservation du produit de garder leur qualité et performance sur une durée de vie bien plus importante,
- Informer les constructeurs, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les particuliers autoconstructeurs sur les modes de construction qui permettent de privilégier une filière de réemploi en fin de vie (éviter l'enduit direct ou Insufflation en caisson par exemple)
- S'appuyer sur les outils digitaux à venir, notamment le BIM, pour garder une traçabilité des localisations des produits mis en œuvre et intégrer dans les fiches techniques des produits les potentialités de réemploi
- Etablir une méthodologie permettant aux diagnostiqueurs économie circulaire / réemploi et aux entreprises de déconstruction sur la reconnaissance d'un isolant encore en bon état et potentiellement réemployable
- Définir la liste des tests à réaliser pour vérifier le potentiel de réemploi/réutilisation des isolants
- Mener un suivi des chantiers produisant des isolants biosourcés en fin de vie, vérifier leur état et leurs performances pour enrichir les retours d'expériences

11.4. Recommandations pour les scénarios pour la paille en fin de vie

À partir des entretiens menés auprès des experts de l'isolant Paille, l'étude montre qu'il existe des scénarios alternatifs à l'élimination. Les évolutions de coût de TGAP sur l'élimination engendrent également une incitation économique forte à trouver d'autres solutions que l'enfouissement. Pour que ces filières puissent être mises en œuvre, nous recommandons de :

- Informer les constructeurs, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les particuliers autoconstructeurs sur les filières en fin de vie,
- Dès les premiers chantiers, réaliser des expérimentations et un suivi afin de démontrer par retour d'expériences la faisabilité du scénario
- Lors des chantiers, préparer en amont la filière avec la recherche d'un acteur local intéressé par la reprise de la paille en fin de vie
- La paille va engendrer des volumes importants. L'espace de stockage sur site devra donc être anticipé.
- Dans le cas d'une filière avec un agriculteur local, il sera important de créer un réseau d'agriculteurs et de gestionnaires d'espaces verts potentiellement intéressés par leur récupération. Le scénario de reprise local nécessite de créer un écosystème d'acteurs sur les territoires,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME. Analyse technico-économique de 39 plateformes françaises de tri/valorisation des déchets du BTP, décembre 2011
- ADEME, FFB. Mieux gérer les déchets de chantier de bâtiment - dernière mise à jour novembre 2013
- ADEME. Actes de la journée SÉMINAIRE R&D : Restitution des projets lauréats de l'appel à projets de R&D « DÉCHETS BTP » Éditions 2012-2014 - 28 avril 2016 - FIAP Jean Monnet, Paris 14ème
- ADEME. REPAR - Réemploi comme Passerelle entre Architecture et industrie, Mars 2014
- ADEME. Démarche REVALO – Fenêtre en fenêtre - Recyclage en boucle fermée des menuiseries en fin de vie issues des chantiers de rénovation thermique et de réhabilitation lourde, Décembre 2014
- ADEME. Démarche REVALO – Qualité Intégrée : Produire bien du premier coup - Réduction à la source des déchets de production issus de la phase Gros Œuvre des bâtiments en construction, Septembre 2014
- ADEME. Nouveaux systèmes constructifs démontables en rénovation ou déconstruction pour valorisation et recyclage simplifiés et attractifs des produits et matériaux (Demodolor), Juillet 2015
- ADEME. Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction, avril 2016
- ADEME. Gestion et valorisation des déchets de chantier du bâtiment, juin 2016
- ADEME. DEMOCLES : les clés de la démolition durable, Juillet 2016
- ADEME. Mise en œuvre de l'obligation de télédéclaration du formulaire de récolement CERFA 14498 pour certaines opérations de démolition - Décret du 31 mai 2011, Edition 2017.
- ADEME. Bilan National du Recyclage 2005-2014 - Rapport final, mai 2017
- ADEME. Exploitation des états des lieux départementaux de prévention et de gestion des déchets issus de chantiers, mars 2017
- ADEME. Fiche technique déchets du bâtiment, septembre 2017
- ADEME. La qualité environnementale des bâtiments tertiaires retour d'expériences en Auvergne-Rhône-Alpes, avril 2018
- ADEME, TBC et CSTB. Perspectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC, décembre 2019
- ADEME – 2021 - Etude de préfiguration de la filière REP Produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment
- BELLASTOCK – Guide Optimiser et massifier le réemploi de matériaux - 2018
- CEREMA. Guide méthodologique Économie circulaire des matériaux et ouvrages du BTP : L'analyse de cycle de vie appliquée aux infrastructures de transport, 2019
- DEMOCLES. Guide d'accompagnement de la Maîtrise d'ouvrage et de la Maîtrise d'œuvre. Intégration des prescriptions « Déchets » dans les CCTP et les contrats cadres de chantiers de réhabilitation lourde et de démolition, novembre 2017

- DEMOCLES. Guide d'informations sur les filières de valorisation des déchets du second-œuvre, mars 2018
- DEMOCLES. Outils et Guide pour la réalisation du diagnostic Produits/matériaux/déchets avant démolition/réhabilitation significative des bâtiments – 2020
- FFB et ses partenaires - Etude de scénarii pour la mise en place d'une organisation permettant une gestion efficace des déchets du bâtiment dans le cadre d'une économie circulaire, mai 2019
- FCRBE – CSTC - Un guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction – Mars 2020
- FRANCEAGRIMER - L'observatoire en biomasse des ressources du territoire – Edition 2016
- NOVABUILD. Utilisation en technique routière des graves recyclées issues de la déconstruction, décembre 2019
- RECORD. Intégration de déchets en construction : Comparaison des approches européennes et recommandation pour la définition d'une procédure d'évaluation, novembre 2019
- SEDDRE – Etude sur les pratiques de tri sur les chantiers de déconstruction – Janvier 2020
- NOMADÉIS, ARTS ET METIERS PARISTECH, BIOBUILD CONCEPT - Panorama de l'usage des matériaux de construction biosourcés dans 15 pays
- Projet de recherche BIOECONOMICS - Analyse de la chaîne de valeur dans le domaine de la production, fabrication, commercialisation et de la mise en œuvre de matériaux biosourcés - Auteurs : Luc Floissac, Hans Valkhoff, Sylvain Angerand - juin 2016
- Projet TERRACREA - Disponibilités en terres arables métropolitaines pour une production soutenable de matériaux biosourcés pour la construction / réhabilitation de bâtiments compatibles avec les objectifs « Grenelle » - Août 2014
- PROJET RECYFIBRES – Etude de la valorisation matière des panneaux de fibres issus des DEA BOIS - 2017
- François Bois, Amélie Carré, La déconstruction, une alternative écologique à la démolition – Complément technique – Le Moniteur – mai/juin 2020 – page 33 à 50
- Virginie PAVIE, 2018, Principes de déconstruction, Déconstruction, quand la dépose se fait sélective. Cahier technique du bâtiment - N°318

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau de données quantitatives des différents dispositifs d'isolation (volume, densité, poids)	12
Tableau 2 : Opportunités et freins au réemploi de isolants biosourcés	23
Tableau 3 : Evolution du marché de Accort-Paille	30
Tableau 4 : Répartition des systèmes constructifs selon les entretiens et la représentativité à l'échelle nationale	31
Tableau 5: Leviers et freins concernant les scénarios de fin de vie pour la Paille	32
Tableau 6: Dépose sélective selon les systèmes constructifs	32
Tableau 7: Modes de valorisation privilégiés selon les systèmes constructifs	33
Tableau 8 : Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose	35
Tableau 9 : techniques de dépose du vrac recyclé	36
Tableau 10 : Evaluation de la complexité de la dépose sélective	36
Tableau 11 : techniques de la dépose sélective	37
Tableau 12 : Evaluation de la complexité de la dépose	37
Tableau 13 : Faisabilité du scénario « Reprise local » pour paillage ou litière animale	40
Tableau 14 : Faisabilité du scénario « compostage »	41
Tableau 15 : Faisabilité du scénario « méthanisation / valorisation énergétique »	42
Tableau 16 Systèmes constructifs à partir d'isolants à base de chanvre selon les entretiens	43
Tableau 17 Freins et leviers des FDES pour la filière chanvre	44
Tableau 18 : techniques de dépose de l'isolant chanvre mis en œuvre par voie humide	47
Tableau 19 : Evaluation de la complexité des techniques de dépose (voie humide)	47
Tableau 20 : techniques de dépose du vrac recyclé	48
Tableau 21 : Evaluation de la complexité des techniques de dépose des panneaux/rouleaux (voie sèche)	48
Tableau 22 : Faisabilité du scénario « épandage/compostage »	50
Tableau 23 : Faisabilité du scénario « Réemploi »	51
Tableau 24 : Faisabilité du scénario « Réemploi »	53
Tableau 25 : Faisabilité du scénario « Valorisation énergétique »	54
Tableau 26 : Fabricants des isolants en France	58
Tableau 27 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose	64
Tableau 28 techniques de dépose de ouate en vrac (combles perdues)	64
Tableau 29 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac (combles perdues)	64
Tableau 30 Technique 1 de la dépose de ouate en vrac (combles perdues)	65
Tableau 31 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac par aspiration (combles perdues)	65
Tableau 32 Technique 2 de la dépose de ouate en vrac manuellement (combles perdues)	65
Tableau 33 Evaluation de la complexité de la dépose de ouate en vrac manuellement (combles perdues)	65
Tableau 34 Technique de la dépose de la ouate projeté	65
Tableau 35 Evaluation de la complexité technique de la dépose de la ouate projeté	65
Tableau 36 : Faisabilité du scénario « Réemploi pour le même usage » pour la ouate de cellulose	67
Tableau 37 : Faisabilité du scénario « Recyclage » pour la ouate de cellulose	68
Tableau 38 : Faisabilité du scénario « valorisation énergétique » pour la ouate de cellulose	69
Tableau 39 : Modalités techniques de dépose de l'isolant à base de textiles recyclés	74
Tableau 40 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose	76
Tableau 41 : techniques de dépose du vrac recyclé	76
Tableau 42 : techniques de dépose du vrac recyclé	77
Tableau 43 : Faisabilité du scénario réemploi du textiles recyclés	78
Tableau 44 : Faisabilité du scénario recyclage en boucle fermée du textiles recyclés	79
Tableau 45 : Faisabilité du scénario recyclage en boucle ouverte du textiles recyclés	80
Tableau 46 : Faisabilité du scénario valorisation énergétique du textiles recyclés	81
Tableau 47 : Modalités de dépose sélective	84
Tableau 48 Définition des niveaux de compétence et d'équipement des opérations de dépose	85
Tableau 49 : techniques de dépose du vrac recyclé	85
Tableau 50 : Evaluation de la dépose sélective du vrac	86
Tableau 51 : techniques de dépose des panneaux/rouleaux	86
Tableau 52 : Evaluation de la dépose sélective des rouleaux/panneaux	87

FIGURES

Figure 1 : Techniques d'extraction des isolants biosourcés	10
Figure 2 : Schéma d'organisation d'une filière de réemploi des isolants biosourcés – Source INDDIGO	27
Figure 3 : Etapes d'acheminement des isolants en fin de vie selon un schéma d'organisation classique.....	28
Figure 4 : Evolution des tendances de la construction en paille	30
Figure 5 : Schéma de principe des systèmes constructifs selon la voie sèche et voie humide.....	35
Figure 6 : Schéma de principe de la dépose sélective de la paille en ossature bois.....	36
Figure 7 : Schéma de principe de la dépose sélective de la paille en caisson porteur	37
Figure 8 : Description des filières de traitement potentielles en fin de vie de la botte de paille	38
Figure 9 : Description des scénarios potentiels en fin de vie de l'isolant à base de paille	39
Figure 10 : Modalités de déposes sélectives (et outils).....	45
Figure 11 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant – voie humide.....	47
Figure 12 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant en fin de vie – voie sèche	48
Figure 13 : Description des scénarios pour la valorisation en fin de vie du chanvre issu des filières artisanales.....	49
Figure 14 : Schéma d'acheminement des isolants en fin de vie composés de chanvre sans adjuvant vers les différents scénarios de valorisation	49
Figure 15 : Description des scénarios de valorisation en fin de vie des isolants chanvre pour la filière dit industrielle	52
Figure 16 : schéma d'acheminement des isolants en fin de vie composés d'une majorité de chanvre et contenant des adjuvants vers les différents scénarios de valorisation	52
Figure 17 : Schéma des modes de valorisation potentiels de la fin de vie de la ouate de cellulose en vrac.....	66
Figure 18 : Description des pistes possibles sur l'acheminement de la ouate de cellulose en fin de vie vers les filières de traitement	66
Figure 19 : Centres de collecte et de tri du Relais et centre de transformation industrielle de Métisse	71
Figure 20 localisation des usines (memento 2019 de FCBA)	83
Figure 21 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant – voie humide.....	86
Figure 22 : schéma descriptif sur les modalités de déconstruction de l'isolant en fin de vie – voie sèche	87
Figure 23 Synthèse des valorisations potentielles des fins de vie	88
Figure 24 : Schéma d'acheminement des isolants en fin de vie type fibre de bois vers les différents scénarios de valorisation	88

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.

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 apporte des connaissances techniques et scientifiques sur ces matériaux et des recommandations vis-à-vis de leur fin de vie en analysant les moyens d'identification des matériaux biosourcés en fin de vie, les modes de dépose/déconstruction, de collecte et tri des matériaux en fin de vie en vue d'assurer une valorisation, les potentialités de filières de valorisations des matériaux biosourcés, notamment énergétiques, les bonnes pratiques en termes d'éco-conception en vue d'une valorisation en fin de vie.

Cette étude apporte des premiers enseignements techniques sur les scénarios de gestion en fin de vie de différents types d'isolants biosourcés.

A partir des modalités mise en œuvre de pose en construction, elle amène des éléments sur les modalités de dépose sélective, le conditionnement adapté et les filières de traitement envisageables.

