

Etude des possibilités de fin de vie du béton de chanvre

Guillaume DELANNOY¹, Frédéric BECQUART^{2,3}, Liselotte TINEL⁴, Christelle HUGUET⁵, Stéphane LEPOCHAT⁵

¹FRD-CODEM, BATLab, 56 rue André Durouchez, 80080 Amiens, France

²IMT Nord Europe, Institut Mines-Télécom, Centre for Materials and Processes, F-59000, Lille, France

³Laboratoire de Génie Civil et Géo-Environnement, ULR 4515 – LGCgE, Université de Lille, Institut Mine-Télécom, Université d'Artois, Junia, F-59000, Lille, France

⁴IMT Nord Europe, Institut Mines-Telecom, University of Lille, Centre for Energy and Environment, F-59000, Lille, France

⁵EVEA, 11 Arthur III, 44200 Nantes, France

RESUME Le béton de chanvre est un matériau isolant utilisé depuis plus de 35 ans et avec une durée de vie estimée entre 50 et 100 ans. Malgré l'absence de gisement en déconstruction, il est essentiel d'anticiper la fin de vie de ces produits pour améliorer leur empreinte environnementale et mieux écoconcevoir les formulations à venir. L'objectif du projet ValoBBio est d'apporter de premiers éléments autour des possibilités de déconstruction, de tri et de traitement, mais aussi autour de caractérisations, d'étude de faisabilité technique et des impacts environnementaux associés aux différents scénarios testés. À partir de deux cas d'école avec des liants et des systèmes constructifs différents, l'étude présentée a testé des scénarios de recyclage, de valorisations organiques et énergétiques. Il apparaît que des scénarios comme le recyclage ou la méthanisation sont prometteurs, quand la valorisation énergétique ou le compostage seraient à écarter. D'autres pistes sont à l'étude, tout comme la mesure de l'impact environnemental de ces scénarios.

Mots-clefs Béton de Chanvre, Fin de Vie, Biosourcé, Isolation

I. INTRODUCTION

Les enjeux de décarbonation du secteur du Bâtiment sont importants pour atteindre nos objectifs de neutralité carbone d'ici à 2050. La baisse de la consommation énergétique dans le neuf ou la rénovation, et donc l'isolation des bâtiments, et l'utilisation de matériaux à faibles impacts environnementaux sont de véritables leviers. L'utilisation de matériaux isolants à partir de ressources renouvelables, et stockant du carbone biogénique sur un temps relativement long est l'une des solutions.

Au-delà des performances techniques d'un isolant, son impact environnemental est calculé par l'outil d'Analyse de Cycle de Vie. Cette méthodologie est normée (ISO 14040, 2006), tout comme sa déclinaison dans le secteur du Bâtiment via la norme NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2019-1) et son complément national (AFNOR 2022). Si l'utilisation de ressources renouvelables et biosourcées est un avantage sur l'étape de fabrication, l'impact en fin de vie est également pris en compte et doit donc être étudié.

Il est considéré, parfois à tort car il n'existe quasiment aucune donnée scientifique, que la gestion en fin de vie de ces matériaux biosourcés ne sera pas très difficile (par exemple « de la chaux et du chanvre peuvent bien retourner au sol »). Néanmoins, les aspects de tri des déchets, de traitements, de faisabilités techniques, réglementaires/normatifs, économiques et de création de filières sont autant de points qu'il faut vérifier pour passer de théoriques scénarios de fin de vie à de vraies solutions opérationnelles. Il devrait être nécessaire pour tout matériau mis sur le marché d'apporter des perspectives de recyclage concrètement établies, ou d'alternatives sur les scénarios en fin de vie. L'éco-conception est primordial, notamment avec le lancement de la REP Bâtiment.

Une étude de l'ADEME de 2014 avait pour objectif d'identifier et d'évaluer les gisements actuels et à venir des matériaux biosourcés en fin de vie (ADEME, 2014). Le secteur du Bâtiment étant le 1^{er} contributeur de déchets en France, les matériaux de construction ont été notamment suivis. Ces produits étant relativement récents, il a été difficile de projeter une quantité de déchets à un horizon à court terme (pas/peu de déconstruction) et l'évolution des filières a rendu difficile la prospective à 2030. Néanmoins, il est apparu qu'il manquait un certain nombre de données techniques pour juger des possibilités techniques et réglementaires des différents scénarios de fin de vie proposés, et notamment pour les bétons végétaux.

Le béton de chanvre est un matériau isolant composé de granulats végétaux, issus de la tige de chanvre appelés chènevotte, d'un liant minéral et d'eau. Depuis plus de 35 ans, ce matériau se développe d'abord en banchage, en projection, et plus récemment en blocs ou en murs préfabriqués. Sa mise en œuvre est régie par des Règles Professionnelles portées par Construire en Chanvre (Construire en Chanvre, 2012). Ses mécanismes de vieillissement permettent de considérer que c'est un matériau durable dans le temps (Delannoy, 2020), il n'y a donc pas, à court terme, de gisements à traiter en fin de vie. Très peu d'études ont travaillé sur la fin de vie du béton de chanvre. Les seuls travaux existants n'ont traité que du recyclage (Trauchessec, 2016 ;Aurore, 2023).

Cependant, l'anticipation de ces questions en fin de vie est essentielle pour :

- améliorer le calcul des impacts environnementaux du matériau retranscrit dans les FDES
- mieux gérer les rebus de fabrication ou de chantier
- écoconcevoir les nouvelles formulations à partir de ces scénarios

C'est dans ce but qu'est né le projet ValoBBio (financement ADEME et Région Hauts-de-France), porté par FRD-CODEM, l'IMT Nord Europe et EVEA pour donner de premiers éléments sur les possibilités de déconstruction, de tri, de traitements et de valorisations du béton de chanvre en fin de vie.

La déconstruction sélective est possible (grignotage de l'enduit puis extraction du matériau d'une ossature bois ou contre un mur) au vu du retour d'experts interrogés dans le projet (déconstructeurs, artisans, formateurs sur les maquettes de formation, ...) ainsi que suite aux essais réalisés par le CSTB dans le cadre du programme Ecoscale sur une solution industrielle (CSTB, 2024). Le traitement du matériau retenu pour le reste de l'étude est le concassage du béton de chanvre. La caractérisation des granulats a fait l'objet d'une première publication (Sawadogo, 2023-1) ainsi que les premiers résultats de recyclage (Sawadogo, 2023-2). L'une des conclusions de

cette caractérisation est que les granulats de bétons de chanvre sont classés comme matériaux dangereux, à cause de leur teneur en composé organique notamment dans le lixiviat, au regard des réglementations du code de l'environnement (Conseil de l'Union Européenne, 2003) sur le classement des déchets pour l'enfouissement qui limite la teneur en matière organique pour éviter la création de poche de méthane. En dehors de ce point, le matériau serait classé en matière non dangereuse et non inerte. Cela rend donc très peu probable le scénario de mise en décharge malgré que ce soit aujourd'hui le scénario par défaut dans les FDES (indiqué dans le complément national de la NF EN 15804+A2 (AFNOR, 2022)).

Cet article présente des résultats complémentaires autour du recyclage des granulats de béton de chanvre et les premiers résultats de valorisation organiques et énergétiques.

II. Matériaux et Méthodes expérimentales

A. Matériaux

Les granulats recyclés utilisés dans cette étude sont issus du concassage de deux formulations de bétons de chanvre validées dans les Règles Professionnelles de Construire en Chanvre, l'une à base de liant formulé à la chaux (Ch) et l'autre à base de ciment naturel (CN). Ces matériaux sont soit fournis par les industriels, soit reproduits en suivant les recommandations du fabricant de liant. Après séchage (minimum 3 mois), les blocs sont concassés (grille du concasseur sur D >7mm) et tamisés ($d/D = 1/7$ mm) pour obtenir des granulats recyclés (GR) d'une part (entre 73 et 86% selon le liant) et de la poussière (entre 14 et 27%).

La caractérisation complète de ces granulats est décrite dans un précédent article (Sawadogo, 2023-1). La tableau 1 donne les principales caractérisations des granulats recyclés.

TABLEAU 1. Principales caractéristiques des granulats recyclés sur les matériaux à base de chaux (GR-Ch) ou de ciment naturel (GR-CN) (Sawadogo, 2023-1)

	Masse volumique apparente	Absorption d'eau W_{72h}	Porosité totale
GR-Ch	242 kg/m ³	144 %	88
GR-CN	204 kg/m ³	137 %	90

Le liant utilisé pour formuler de nouveaux bétons de chanvre est la formulation à base de chaux, validée dans les Règles Professionnelles de Construire en Chanvre (Construire en Chanvre, 2012), qui a servi à l'une des deux formulations des produits initiaux de l'étude. Les essais avec l'autre liant ont été présentés dans l'étude précédente (Sawadogo, 2023-2).

La chènevotte brute est sous label Granulat Chanvre de Construire en Chanvre et sa caractérisation est aussi décrite dans l'article de (Sawadogo, 2023-1).

B. Méthodes expérimentales

B1 Formulations de bétons de chanvre incluant des granulats recyclés :

Ce travail porte sur les formulations à base de chaux. Une formulation classique (100% de chènevotte brute) sert de référence (BC-Ref-Ch). Différentes formulations de bétons recyclés (BR) ont été testées avec une incorporation progressive de granulats recyclés en substitution à de la chènevotte. La substitution se fait en volumique (10-20-30%) pour garantir un enrobage des granulats par le liant suffisant. La chènevotte brute complète le volume de granulat. Un travail préliminaire sur l'optimisation des formulations (gestion de l'eau en fonction de l'absorption différente des GR, présence de gangue résiduelle ...) a permis d'obtenir les formulations suivantes :

TABLEAU 2. Formulations retenues de béton de chanvre avec le liant à base de chaux Ch et en fonction du taux de granulats recyclés (Ref=0% ; 10% ; 20% ; 30%)

	BC-Ref-Ch	BR_10-Ch	BR_20-Ch	BR_30-Ch
Liant/Granulat (massique)	1.6	1.33	1.13	0.99
Eau totale/Liant (massique)	1.9	1.9	1.9	1.9
%volumique de GR en substitution de chènevotte	0%	10%	20%	30%

B2 Conductivité thermique :

La conductivité thermique des bétons de chanvre est mesurée par méthode fluxmétrique selon la norme NF EN 12664 (AFNOR,2001), dans les conditions 10°C/sec, les échantillons étant préalablement séchés à 70°C.

B3 Résistance mécanique :

Les essais en compression pour la campagne d'essai à FRD-CODEM sont réalisés selon la norme NF EN 12390-4 (AFNOR, 2019-2) sur une presse hydraulique.

B4 Essai de compostage :

Les essais de compostage ont lieu dans une enceinte climatique d'un respiromètre (Figure 1-a) avec 12 bioréacteurs qui peuvent fonctionner simultanément. Les échantillons sont introduits dans du compost en proportion massique 1/6 matériau/compost. Le matériau de référence (cellulose microcristalline) est préparé suivant la proportion massique 1/6 matériau référence/compost, en triplicatas. L'essai est réalisé en suivant la norme ISO 14855 (ISO, 2018) (température de 58°C, humidité relative supérieure à 60%HR, durée de l'essai maximum de 6 mois). Des prélèvements d'air sont réalisés au sein de chaque bioréacteur pour permettre le suivi de la concentration en O₂ (consommé) et CO₂ (rejet) dans le milieu. Le paramètre principalement suivi est la minéralisation qui est lié à la production de CO₂ pour déterminer le pourcentage de biodégradation.

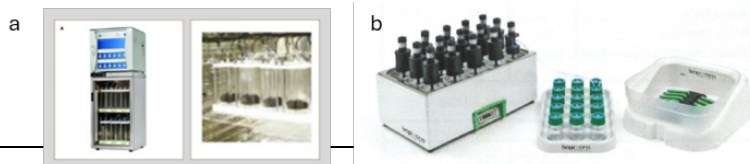


FIGURE 1. a. Respiromètre ECHOA et bioréacteurs – b. Système AMPTS II*B5 Essai de méthanisation :*

Pour l'essai de dégradation en milieu anaérobie, le test effectué est un test « BPM » (Biochemical Methane Potential) dit pouvoir méthanogène. C'est un test de dégradation ultime avec une production cumulative de gaz en point final. La quantité de gaz produits lors de la dégradation des échantillons en présence de microorganismes est mesurée par respirométrie et sa composition déterminée par chromatographie en phase gazeuse.

Pour la caractérisation du potentiel méthanogène, un dispositif automatique a été utilisé (figure 1-b), qui permet de mesurer automatiquement la production de méthane. Un ratio Inoculum/substrat à l'état frais de 3 est retenu. Le lisier servant d'Inoculum est filtré préalablement pour limiter la charge en matière organique.

À partir des mesures fournies, les résultats de l'essai du potentiel méthanogène sont exprimés $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{t}$ représentant le volume de méthane produit en conditions normales de pression (1atm) et de température (0°C), en fonction de la masse en tonne de matières fraîches (ou brutes), en tonne de matières sèches ou en tonne de matières organiques.

B6 Taux de cendre :

Le taux de cendre est défini après combustion dans un four des matériaux à 850°C , après séchage des échantillons à 80°C .

B7 Pouvoir Calorifique Inférieur :

Le Pouvoir Calorifique Inférieur est la quantité totale de chaleur dégagée par la combustion. Il est déterminé selon la norme NF EN ISO 21654 (AFNOR, 2021), dans une bombe calorimétrique étalonnée et avec une température de 25°C .

III. Résultats*A. Recyclage du béton de chanvre*

Dans le cadre de cette campagne d'essais, l'objectif a été d'étudier l'effet de l'incorporation de granulats recyclés en substitution d'une partie de la chènevotte. La substitution est exprimée en volume. Ainsi le ratio massique liant/granat diminue par l'intégration des granulats recyclés qui maintiennent le volume, mais augmentent la masse des granulats pour une même quantité de liant. Au vu d'une même quantité de liant et d'une incorporation plus faible de granulats, le même ratio E_{totale}/L a été retenu.

On observe Figure 2 une augmentation de la masse volumique en fonction du taux d'incorporation des GR. La conductivité thermique augmente entre 10 et 15% par rapport à la référence. En revanche, concernant les propriétés mécaniques, on observe une augmentation de la résistance en compression à partir de 20% de GR.

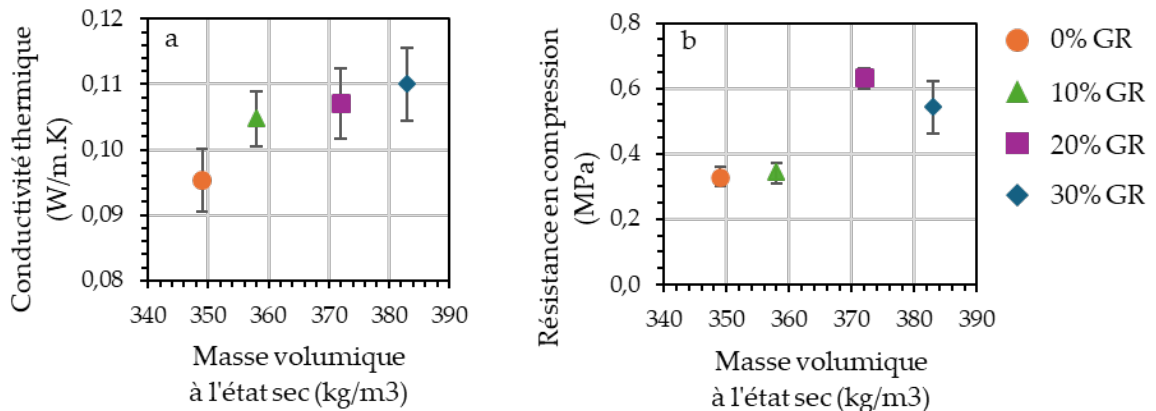


FIGURE 2. Résultats de masses volumiques, conductivité thermique (a) et résistance en compression (b) de la formulation de référence avec de la chènevotte (BC-Ref-Ch) et des formulations de bétons recyclés avec un liant à base de chaux et en substituant la chènevotte par 10%, 20% ou 30% en volume de granulats recyclés (BR_10-Ch, BR_20-Ch, BR_30-Ch)

Avec un objectif de limiter l'augmentation de la conductivité thermique sans dégrader les performances mécaniques, il apparaît donc possible de recycler du béton de chanvre pour faire une nouvelle formulation de béton de chanvre. Le taux d'incorporation de GR sera néanmoins limité pour rester acceptable sur son objectif principal de matériau isolant.

B. Valorisation organique

La valorisation organique est envisageable par la présence de matières organiques. Différentes solutions existent comme le compostage, la méthanisation ou l'amendement organique.

B1 Compostage

Le compostage est un procédé aérobie permettant de dégrader la matière organique et qui produit de la matière (compost) qui sert notamment d'amendement des sols. Dans une démarche de valorisation de déchets, l'approche retenue dans l'étude est celle d'un compostage industriel.

Les résultats de minéralisation (émission de CO₂) sont présentés Figure 3.

Les cinétiques de minéralisation obtenues sont les mêmes pour les deux formulations de béton de chanvre (GR-Ch et GR-CN). Pour obtenir la quantité de CO₂ provenant de l'échantillon, il est nécessaire de soustraire à chacune des cinétiques celle correspondant à la cinétique de minéralisation du blanc contenant du compost seul (GR_Ch_{corrigé} et GR_CN_{corrigé}). En comparant les cinétiques des échantillons à celle obtenue pour le blanc, les courbes sont au-dessus de celle du blanc pendant les 5 premiers jours de l'essai de compostage. À partir des taux de carbone organiques déterminés précédemment, cela correspond à un taux de biodégradation de 4% pour les deux échantillons fournis. Au-delà de 5 jours, les courbes se situent en-dessous de la courbe de blanc (et même en négatif), la minéralisation diminue pour le compost contenant les échantillons fournis. Cela signifie qu'au-delà de 4% de biodégradation, l'activité des micro-organismes devient plus faible que pour le compost seul.

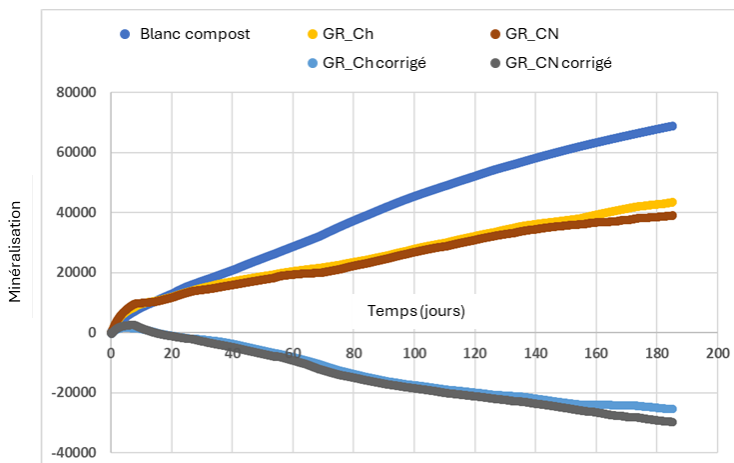


FIGURE 3. Courbe de minéralisation des granulats issus du broyage du béton de chanvre avec le ciment naturel (GR-CN), avec la chaux (GR-Ch) et du témoin (T), ainsi que les courbes corrigées GR-CN corrigée et GR-Ch corrigée

Une explication est que l'incorporation de granulats de chènevottes enrobés par une matrice minérale limite la biodégradation de la chènevotte à un taux de 4% et diminue de façon significative l'activité des micro-organismes du compost.

La courbe de minéralisation étant tracée à partir de la mesure du taux de CO_2 , la présence de liants minéraux peut fausser la mesure en captant par carbonatation une partie du CO_2 émis, rendant difficile l'exclusion définitive de ce scénario. Un essai sur réacteur est prévu pour apporter une caractérisation plus fine du digestat et pouvoir conclure sur l'intérêt de cette solution de fin de vie.

B2 Méthanisation

La méthanisation est un procédé de dégradation anaérobie, permettant de produire du biogaz ainsi que de la matière utile en amendement des sols. Seul le granulat recyclé du béton de chanvre à base de chaux (GR-Ch) est testé dans cette étude, en comparaison avec la chènevotte seule.

Les courbes de production cumulée de méthane permettent de voir les cinétiques de production du gaz au-delà de la valeur maximale atteinte (Figure 4). On observe que les échantillons de chènevotte produisent plus de méthane par tMS. La teneur en carbone organique étant plus importante, ce résultat est attendu. Néanmoins, avec moins de 50% de matière organique pour les granulats recyclés, on observe que l'on ne divise pas par 2 la quantité de méthane produit par rapport à la chènevotte brute. De plus, cette valeur obtenue de $100 \text{ Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{tMS}^{-1}$ est tout à fait compétitive avec d'autres matières aujourd'hui couramment introduites dans les méthaniseurs (valeur supérieure aux lisiers par exemple).

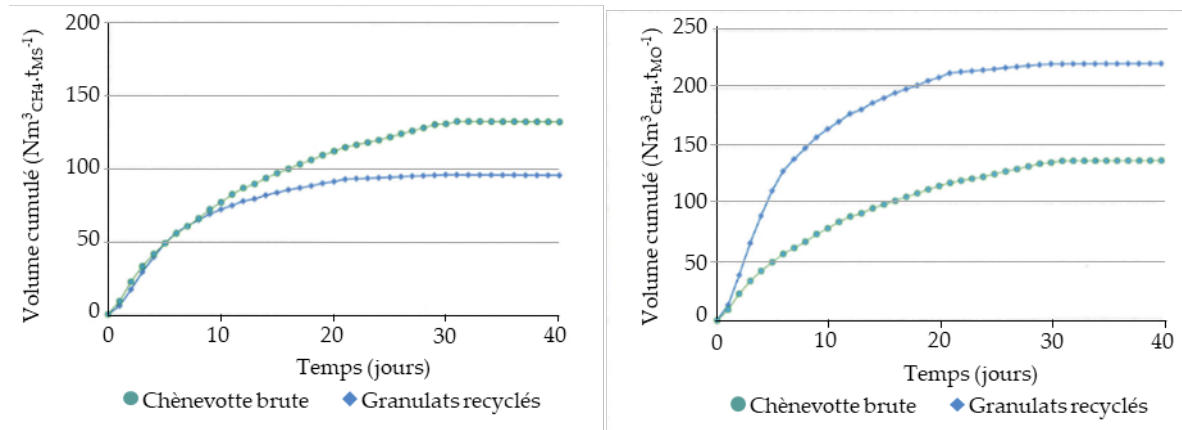


FIGURE 4. Courbes cumulées de production de méthane pour la chènevotte brute et pour GR-Ch par tonne de matières sèches et par tonne de matière organique.

Lorsque l'on observe la courbe de méthane produit selon la teneur en matière organique, on peut conclure qu'il y a une meilleure efficacité de production de méthane à partir des granulats de béton recyclé. Le pH basique, voire la dégradation alcaline du granulat par le liant facilite la dégradation de la matière organique et donc favorise la production de méthane. De plus, des études récentes ont montré l'intérêt de traiter à la chaux les intrants de méthanisation, pour augmenter le rendement jusqu'à 15% en conditions réelles (Van Vlierberghe, 2022). En effet, le pH a tendance à diminuer au cours de la réaction, et à limiter la production de méthane. Un ajout de chaux est parfois utilisé pour équilibrer le pH est garantir un rendement suffisant. Ainsi, l'ajout dans les intrants de granulats de béton de chanvre pourrait avoir, au-delà de l'apport de matières organiques, un intérêt par la présence de matières minérales basiques.

B3 Amendement organique

Au vu de l'apport organique, mais aussi de l'apport basique nécessaire pour certains sols, l'amendement organique/minéral est envisagé. Différents aspects semblent intéressants à étudier :

- Le paillage horticole : l'usage de paillage horticole permet de réduire la quantité d'eau à apporter dans les parterres, et participe dans le temps à un apport de matière organique.
- L'amendement organique agricole : le retour au sol peut être une source de carbone/azote pour la terre, mais aussi la présence de minéraux peut permettre d'ajuster le pH des sols et d'éviter/réduire l'ajout de chaux dans les champs.

Une étude de caractérisation des métaux, du ratio carbone/azote, etc. est en cours permettant de retenir ou non cette solution en fonction des réglementations en vigueur.

C. Valorisation énergétique

La caractérisation des granulats des deux formulations de béton de chanvre en termes de taux de cendre et de PCI est présentée dans le Tableau 3. On observe que le taux de cendres des granulats recyclés est proche de 50%, beaucoup plus élevé que le 2.5% de la chènevotte. C'est la présence de liant qui est majoritairement responsable de ce taux de cendre. En revanche, le PCI est beaucoup plus faible, avec des valeurs entre 3 et 4 MJ/kg quand le PCI de la chènevotte est de 16,4 MJ/kg.

Pour les voies de valorisation énergétique comme les biocombustibles ou pellets, le PCI est trop faible et le taux de cendres trop élevé par rapport aux normes en vigueur.

Pour la pyrolyse ou gazéification, c'est le taux de cendres qui exclut la faisabilité économique plus que technique de retenir cette solution.

TABLEAU 3. Résultats du taux de cendres et du Pouvoir Calorifique Inférieur pour la chènevotte brute, les granulats issus du broyage du béton de chanvre à base de ciment naturel (BR-CN) et du béton à base de chaux (BR-Ch)

	Chènevotte	BR-CN	BR_Ch
Taux de cendres (%)	2,5	49,8	47,7
PCI (MJ/kg)	16,4	3,3	3,7

Les Combustibles Solides de Récupération (CSR) sont la dernière voie envisageable. La dernière classe de CSR demande un PCI >3MJ/kg, ce qui est le cas ici. En revanche, le taux de cendres restant très élevé, la pertinence économique ainsi que la concentration de métaux lourds rendent difficilement envisageable l'incorporation dans des CSR de granulats de béton de chanvre, même dans des fours de cimenterie.

IV. Conclusion

L'objectif du projet ValoBBio est d'apporter de premières données scientifiques et techniques pour anticiper la fin de vie du béton de chanvre, malgré une absence à ce jour de gisement de matériaux déconstruits. Cela est nécessaire pour mieux écoconcevoir les formulations de demain ainsi que pour choisir un scénario de fin de vie pertinent dans le cadre des ACV au vu d'éditer des FDES des bétons végétaux.

Après avoir eu la confirmation de la démontabilité du béton de chanvre en fin de vie, et la faisabilité d'un concassage permettant de récupérer des granulats végétaux, différentes voies de valorisation ont été investiguées dans cette étude.

Le recyclage de ces granulats est possible pour formuler de nouveaux bétons de chanvre. La présence de liant sur ces granulats alourdit le matériau, ce qui entraîne une augmentation de la masse volumique ainsi qu'une dégradation de la conductivité thermique. Néanmoins, la faisabilité technique est prouvée, et des domaines d'emplois spécifiques comme des ateliers dans le projet Aurore (Aurore, 2023), des granges, etc. semblent pertinents.

La valorisation organique est également prometteuse. Malgré la présence de liant résiduel, la méthanisation a montré des résultats prometteurs au vu des valeurs de pouvoirs méthanogènes de produits aujourd'hui introduits dans des méthaniseurs. La présence de chaux serait même un avantage pour réguler le pH du réacteur. Si la faisabilité technique d'un retour au sol est en train d'être étudiée, il semble que le compostage doit être approfondi au vu de la méthodologie d'essai utilisée.

Enfin, la valorisation énergétique semble à exclure, au vu de la faible valeur de PCI et le taux de cendres élevé des GR.

La suite de l'étude se porte principalement sur l'étude environnementale des scénarios de fin de vie les plus pertinents comme la méthanisation et le recyclage, en comparaison avec le scénario par défaut qu'est l'enfouissement.

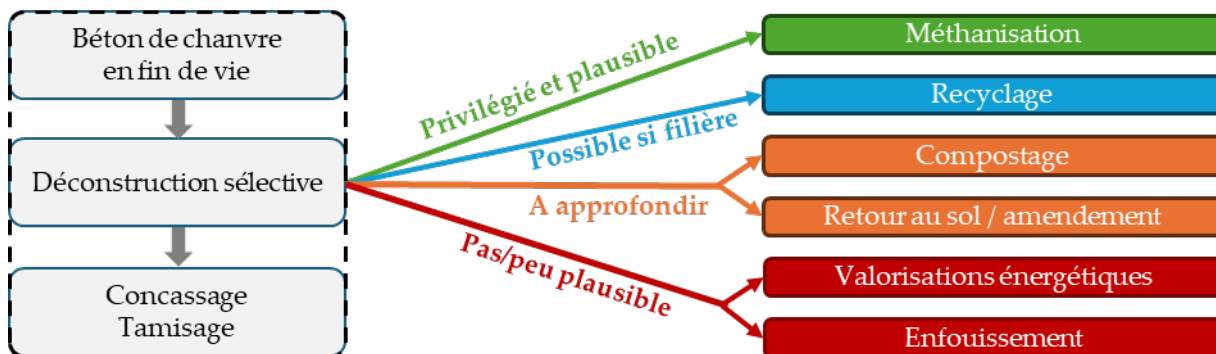


FIGURE 5. Résumé des voies de valorisations possibles ou non du béton de chanvre

REMERCIEMENTS

Ce projet est soutenu par le financement de l'ADEME (Appel à Projet GRAINE) et de la Région Hauts-de-France (dispositif FRATRI).

Le consortium de ValoBBio remercie les financeurs de l'étude, ainsi que les personnes impliquées dans les comités scientifiques autour du projet ValoBBio (universitaires, entreprises de la fin de vie et des déchets, Construire en Chanvre et les membres de la filière Chanvre, institutionnels ...)

REFERENCES

ADEME, Tech2Market, FRD, NaturPlast (2014). Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France. *Librairie ADEME*.

AFNOR (2001). Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique. *Norme NF EN 12664*.

AFNOR (2019-1). Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction. *Norme NF EN 15804+A2*.

AFNOR (2019-2). Essais pour béton durci - Partie 4 : résistance à la compression - Caractéristiques des machines d'essai. *Norme NF EN 12390-4*.

AFNOR (2021). Combustibles solides de récupération – détermination du pouvoir calorifique. *Norme NF EN ISO 21654*.

AFNOR (2022). Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de

construction – Complément national à la NF EN 15804+A2. *Complément à la Norme NF EN 15804+A2*.

Aurore, ADEME (2023). Réemploi et recyclage du béton de chanvre à Paris. *Librairie ADEME, 012089*.

Conseil de l'Union Européenne (2003). Établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges conformément à l'article 16 et l'annexe II de la directive 1993/31/CE. <https://aida.ineris.fr/reglementation/directive-ndeg-199931ce-260499-concernant-mise-decharge-dechets>

Construire en Chanvre (2012). Règles Professionnelles d'exécution. *SEBPT*.

CSTB (2024). Ecoscale: L'évaluation environnementale de la circularité du CSTB. <https://evaluation.cstb.fr/fr/ecoscale/>

Delannoy G., Marceau S., Glé P., Gourlay E., Guéguen Minerbe M., Amziane S., Farcas F. (2018). Durability of hemp concretes exposed to accelerated environmental aging. *Construction and Building Materials*, 252, 31 p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119043>

International Organisation for Standardization (2006). Management environnemental, Analyse du cycle de vie, principes et cadre. *Norme ISO 14040 :2006*.

International Organisation for Standardization (2018). Détermination de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques dans des conditions contrôlées de compostage - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré - Partie 2 : mesurage gravimétrique du dioxyde de carbone libéré lors d'un essai de laboratoire. *Norme ISO 14855-2 :2018*.

Sawadogo A.Y.F., Becquart F., Tinel L., Locoge N., Delannoy G. (2023-1). Caractérisation physique d'agrégats de béton de chanvre recyclés. *CFGC 2023, AJCE, 40(1)*.

Sawadogo A.Y.F., Becquart F., Tinel L., Locoge N., Delannoy G., Lepochat S. (2023-2). Evaluation on the possibility of using hemp recycled aggregates in new formulations of hemp bio-based concrete. *In Proceedings of the International Conference on Bio-Based Building Materials, Vienna, Austria, 21–23 June 2023*.

Trauchessec M. (2016). Recyclage du béton de chanvre. *Synthèse de l'opération de recherche stratégique et incitative MaBioNat, 42-43*.

Van Vlierberghe C., Escudie R., Bernet N., Santa-Catalina G., Frederic S., Carrère H. (2022). Conditions for efficient alkaline storage of cover crops for biomethane production, *Bioresource technology*, 348, 126722. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126722>