



Projet SB&WRC

Rapport final

Juin 2019

Synopsis du projet

Prévu sur une durée de plus de 2 ans, le projet SB&WRC (*Sustainable Bio&Waste Resources for Construction*) a pour but de concevoir, produire et tester trois prototypes d'isolants thermiques innovants, sobres en carbone, et issus de matériaux biosourcés et de déchets recyclés. Le projet est soutenu par le programme de développement Interreg VA France (Manche) Angleterre et son budget, estimé à environ 1,8 M€, est co-financé par le FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) à hauteur de 69% (soit un soutien de 1,26 M€).

Ce projet, dont Nomadéis est le Chef de file, est réalisé par un partenariat regroupant laboratoires de recherche universitaires, sociétés d'étude et de conseil, industriels et associations de professionnels du secteur de la construction :

- Nomadéis ;
- Veolia Propreté Nord Normandie ;
- Université de Bath ;
- Ecole Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction de Caen ;
- Construction21 ;
- UniLaSalle ;
- Université de Brighton ;
- Alliance for Sustainable Building Products.





Nomadéis

120, boulevard Amiral Mouchez • 76600 Le Havre

4, rue Francisque Sarcey • 75116 Paris

Tel.: +33 (0)1 45 24 31 44

www.nomadeis.com

Equipe projet :

Cédric BAECHER, Directeur Associé

Nicolas DUTREIX, Directeur Associé

Guillaume LAULAN, Chef de projets

Adrien DUCHADEUIL, Analyste

© **Nomadéis, 2019**

Droits de copyright

Le texte de la présente publication peut être reproduit en tout ou en partie à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale de la part du détenteur du copyright, à condition de faire mention de la source. Nomadéis et les partenaires du projet SB&WRC seraient reconnaissants de recevoir un exemplaire de toutes les publications qui ont utilisé ce matériel comme source. Il n'est pas possible d'utiliser la présente publication pour la revente ou à toute autre fin commerciale sans demander au préalable par écrit l'autorisation de ses auteurs.

Table des matières

1.	Aperçu du projet.....	5
1.1	<i>Contexte et objectifs</i>	5
1.2	<i>Phase initiale du projet</i>	7
1.3	<i>Phase de développement des prototypes</i>	7
1.4	<i>Phase de déploiement des prototypes</i>	9
1.5	<i>Livrables produits</i>	11
2.	Évaluation des objectifs du programme et du projet	12
2.1	<i>Résumé des extraits du programme et des projets</i>	12
2.2	<i>Revue des cibles du projet et du programme</i>	13
2.3	<i>Évaluation de la réalisation des objectifs du programme et du projet</i>	13
2.4	<i>Discussion des activités du projet</i>	14
2.4.1	Prototype 1 : moelle de maïs	14
2.4.2	Prototype 2 : polyester réutilisé.....	14
2.4.3	Prototype 3 : paille de blé	15
2.4.4	Aspects liés à la communication	15
3.	Recommandations.....	17
3.1	<i>Ressources</i>	17
3.2	<i>Prototype de moelle de maïs</i>	17
3.3	<i>Prototypes en polyester réutilisé</i>	17
3.4	<i>Prolonger les analyses de cycle de vie et économiques</i>	17
3.5	<i>Autres analyses techniques</i>	18

1. Aperçu du projet

1.1 *Contexte et objectifs*

D'une part, le **secteur de la construction** représente une **part importante de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂** dans le monde. D'autre part, de grandes quantités de ressources agronomiques et de déchets, qui restent à valoriser dans une **logique d'économie circulaire**, sont présentes en France et en Angleterre.

Ainsi, le projet **Sustainable Bio&Waste Resources for Construction (SB&WRC)**, soutenu par le programme **INTERREG VA France (Manche) Angleterre**¹ dans le cadre de sa Priorité 2² et de son Objectif Spécifique 2.1³, visait à créer, développer et tester trois matériaux isolants pour la construction innovants, à faible empreinte carbone, à partir de bioressources et déchets actuellement sous valorisés ou inutilisés.

Afin de favoriser l'adoption de ces prototypes par les industriels et les parties prenantes intéressées et de sensibiliser les professionnels du bâtiment aux bioressources et aux produits à base de déchets pour la construction, les partenaires du projet ont cherché à produire des évaluations économiques et environnementales pour chacun des prototypes développés. Ces évaluations, ainsi que des actions de sensibilisation, ont constitué le volet diffusion du projet.

Le projet SB&WRC a duré plus de deux ans avec l'intention de passer de déchets potentiels et de ressources agricoles à des prototypes fonctionnels de matériaux isolants pour lesquels une certaine quantité de données a été produite afin d'intéresser les fabricants. La figure 1 ci-dessous résume les principales activités, et leur calendrier respectif, entreprises par les partenaires.

¹ Le programme INTERREG VA France (Manche) Angleterre est un programme de coopération territoriale transfrontalière européenne (CTE) qui vise à soutenir le développement de la zone France (Manche) Angleterre, conformément aux objectifs de la stratégie Europe 2020 pour créer des emplois et favoriser une croissance intelligente, durable et inclusive.

² Soutenir la transition vers une économie sobre en carbone dans la zone France (Manche) Angleterre.

³ Accroître le développement et l'adoption de technologies existantes ou nouvelles à faible émission de carbone dans les secteurs qui présentent le plus fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

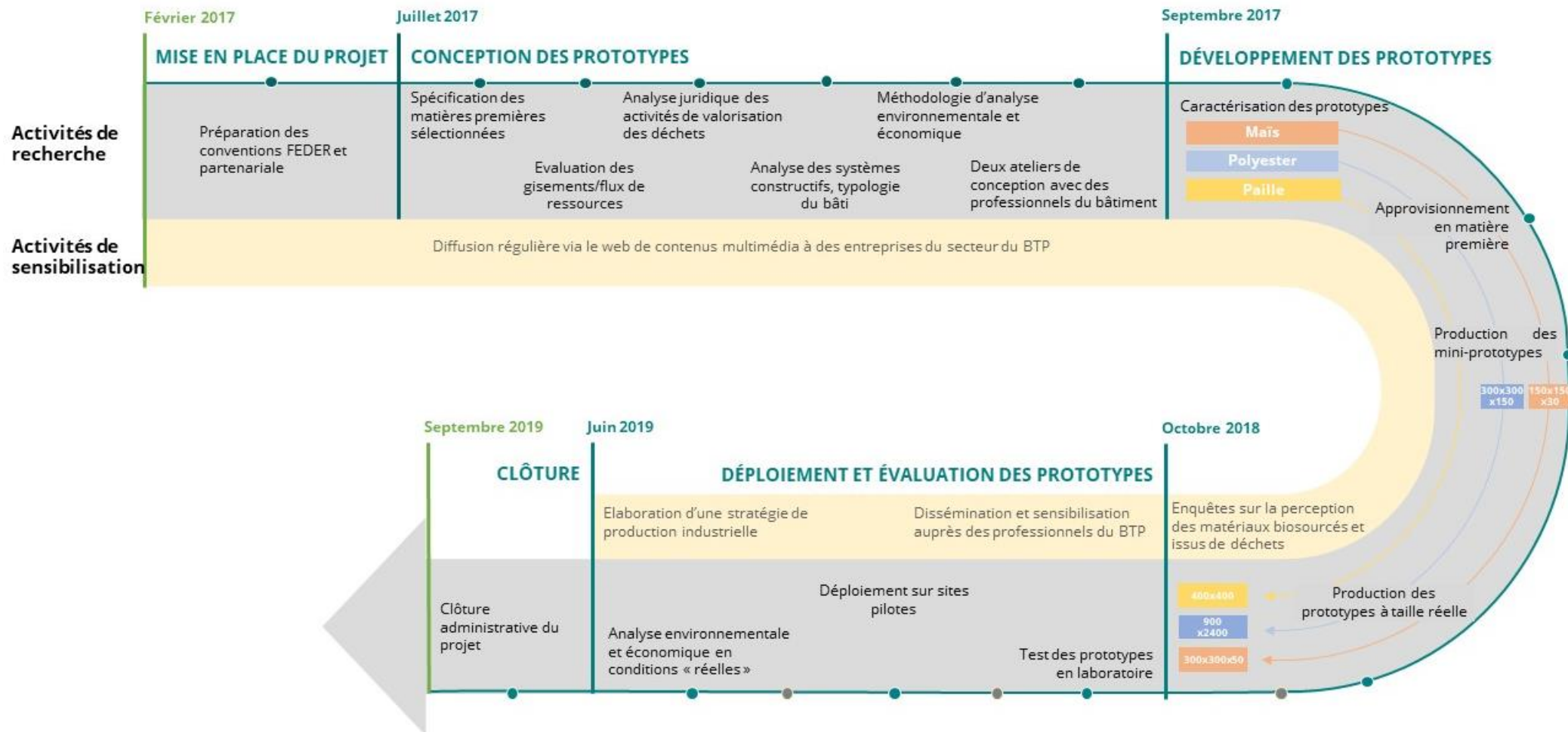


Figure 1 : Schéma résumant le projet SB&WRC et sa chronologie

1.2 Phase initiale du projet

Au cours de la phase initiale du projet SB&WRC, qui a démarré en juillet 2017, les partenaires ont réduit leur choix de 20 ressources présélectionnées à une poignée. Ces dernières ont été **étudiées du point de vue de leur disponibilité dans la région FMA, de leur potentiel de constructibilité, de leurs propriétés physiques** et, en particulier pour les ressources en déchets, du **cadre juridique entourant leur réutilisation ou recyclage**. De là, les partenaires du projet ont opté pour les 3 ressources suivantes :

- **Moelle de maïs ;**
- **Polyester de duvets usagés ;**
- **Paille de blé.**

Par la suite, les partenaires ont entrepris plusieurs tests en laboratoire pour caractériser les ressources sélectionnées qui ont été considérées et comprendre leurs propriétés principales. Parallèlement, **une série d'ateliers**, auxquels ont participé des intervenants externes du secteur de la construction, ont été organisés afin de définir les systèmes constructifs (quel type de produit isolant dans le cas de SB&WRC) qui seraient prototypés pour chaque ressource choisie.

Cette phase s'est donc achevée lorsque les partenaires ont défini les ressources qu'ils allaient utiliser et s'ils avaient un bon potentiel en tant qu'isolant et une idée de la forme constructive qu'ils visaient.

1.3 Phase de développement des prototypes

Les partenaires du projet sont ensuite entrés dans la phase de production du prototype, où le travail de recherche sur chaque ressource a consisté à caractériser les différentes configurations de matériaux, à tester et à optimiser les méthodes de production, à **créer des prototypes miniatures puis des prototypes à grande échelle**. Parallèlement, les ressources transformées ont été soumises à une série d'essais de **caractérisation physique, chimique et thermique** qui ont permis aux partenaires de mieux comprendre le matériau qu'ils avaient choisis et comment l'utiliser au mieux au sein de prototypes fonctionnels.

Cette phase impliquait également une **coopération entre les partenaires** dans le cadre de laquelle le matériel ou les ressources collectées par un partenaire étaient envoyés à un autre partenaire qui avait la capacité de tester ou de compléter la recherche. Par exemple : Veolia a réussi à fournir à la fois l'ESITC Caen et l'Université de Brighton partenaires en couettes usagées ou tous les partenaires ont fourni leurs matériaux de base transformés à UniLaSalle partenaire afin que cette dernière puisse réaliser de petits tests d'inflammabilité à la flamme.

Au cours de cette phase, les partenaires ont également commencé leur travail de sensibilisation et de diffusion. En effet, pendant que ces **expériences scientifiques** se déroulaient, les partenaires du projet ont également assisté à des **conférences et à des événements organisés par la filière** pour présenter les objectifs, les méthodologies et les résultats du projet, ainsi que pour sensibiliser les acteurs à l'utilisation des matériaux de construction à base de déchets et de bioressources. Lors de cette phase, le partenaire ASBP a notamment été présent à la « UK Construction Week/Timber Expo » à Londres, « Delivering Healthy Buildings » à Bristol et à la Woodbuild Wales. Ce partenaire a d'ailleurs organisé la Healthy Buildings Conference le 28 février 2019 où le projet SB&WRC occupait une place de premier plan et à laquelle le partenaire Université de Bath a participé. Partenaire Nomadéis a participé à la COP23 de Bonn en novembre 2017, au congrès Fibra Innovation les 3 et 4 octobre 2018 à Paris avec partenaire Construction21, à la London

Build Expo les 27 et 28 novembre 2018 à Londres avec tous les partenaires anglais et à la conférence finale du projet ISOBIO le 29 janvier à Bruxelles. et enfin

Ce travail de sensibilisé a également consisté à créer des affiches afin de maximiser la diffusion de l'information. De plus, chaque mini-prototype a également circulé auprès de chaque partenaire pour servir d'appui matériel lors de la présentation des membres du projet. Il en a résulté une approche à la fois informationnelle et tactile à même d'attirer différents types d'acteurs et mieux expliquer la recherche qui a été entreprise.



Figure 2: Photos des 3 mini-prototypes qui ont été conçus par les partenaires du projet et utilisés lors des conférences et congrès comme démonstrateurs des produits de R&D

1.4 Phase de déploiement des prototypes

Dans la dernière phase technique, les prototypes ont été produits sous leur forme finale, à taille réelle, (comme le montre la Figure 3). Les **prototypes ont été déployés** soit en chambre climatique, soit sur des sites pilotes (la grande chambre climatique de l'Université de Bath, la Waste House de l'Université de Brighton et la boîte chaude gardée de l'ESITC Caen) afin d'évaluer **leurs deux principales propriétés à valeur commerciale : la conductivité thermique** (« le lambda ») et **la transmittance thermique** (« la valeur U »). La Figure 3 ci-après présente les 3 prototypes à taille réelle avant leur déploiement au sein de la grande chambre climatique du partenaire Université de Bath.

En parallèle, une **enquête sur les attitudes** à l'égard des matériaux issus de coproduits agricoles et de déchets ainsi que sur la perception des prototypes SB&WRC développés par les partenaires a été lancée et diffusée via les plateformes et newsletters respectives des partenaires ASBP et Construction21 afin d'atteindre leurs abonnés. Cette stratégie de diffusion a été appuyée par l'édition de codes QR sur des flyers créés par les partenaires Nomadéis et Construction21. Ces derniers, disponibles en anglais et en français, ont été circulés à tous les partenaires afin d'être distribués dans leurs locaux respectifs et lors des événements auxquels ils prenaient part.

Les évaluations complémentaires des prototypes comprenaient une **analyse du cycle de vie** qui mesurait l'impact environnemental d'un prototype (émission de CO₂, eutrophisation des sols, appauvrissement de la couche d'ozone, etc.) Une **évaluation économique et une stratégie de massification** ont également été entreprises pour évaluer les coûts des chaînes de production et de transport et imaginer des scénarios pour transformer ces prototypes en produits commercialisables et rentables. Ces études pourraient constituer la base d'un modèle d'affaires pour des investisseurs intéressés.

Les partenaires ont également continué leurs **activités de diffusion** qui ont notamment impliqué :

- Une section dédiée de la « Waste Zone » de la conférence Future Build (5 au 7 mars 2019 à Londres) présentant les ressources et leur transformation qui était organisée par l'Université de Brighton. Cette exposition était complétée par des activités organisées par le partenaire ASBP comprenant un stand d'exposition dans le « Knowledge Forum » et un séminaire populaire à dans la « Materials Zone » ;
- Une exposition sur le projet et les prototypes s'est tenue sur le campus de l'ESTIC Caen lors des ses journées portes ouvertes « J'NOV » les 8 et 9 mars 2019 ;
- Un stands d'exposition dédié au projet tenu par la plupart des partenaires français lors du congrès Passi'Bat les 16 et 17 avril 2019 à Paris ;
- La conférence finale du côté anglais qui s'est tenue sous la forme d'un séminaire dans le locaux de l'ASBP à Londres le 23 mai 2019 ;
- Une événement de clôture qui s'est tenu le 18 juin dans les locaux de Veolia d'Aubervilliers, proche de Paris, en présence d'acteurs externes au projet ;
- Un déploiement à visée démonstrative organisé par le partenaire UniLaSalle sur son campus de Rouen le 21 juin 2019 au travers d'une exposition pédagogique dans ses serres expérimentales et d'une conférence ;
- La présentation d'un article scientifique lié aux activités de recherche par le partenaire Université de Bath à la Conférence International sur les « Bio-Based Building Materials » à Belfast du 26 au 28 juin 2019.

En plus des affiches et des mini-prototypes, des dépliants ont été réalisés et distribués par les membres du projet à chaque événement. Ceux-ci résumaient les objectifs et les résultats du projet et encourageaient les parties prenantes à participer à l'enquête de perception. Quatre vidéos et un teaser présentant le projet, les partenaires et les résultats ont été conçues, produites et publiées sur internet. Au total, ce sont huit newsletters qui ont été écrites ; elles compilaient les contributions de chaque partenaire sur leurs recherches en cours et les activités de dissémination auxquelles ils avaient participé puis étaient publiées sur les communautés en ligne et via la liste de diffusion du partenaire Construction21.



Figure 3: Photos des 3 prototypes à taille réelle tels que déployés dans la Grande Chambre Climatique du partenaire Université de Bath.

1.5 Livrables produits

De nombreux livrables ont été produits par les partenaires du projet au fil du temps, voici un tableau résumant les principaux :

Etudes préliminaires
Spécification matières premières
Evaluation des gisements, flux et ressources sur la zone du Programme
Analyse juridique : activité de valorisation des déchets
Analyse des systèmes constructifs, typologie du bâti et proposition de conceptions innovantes
Documentation technique pour chaque prototype
Fiche conception
Protocole R&D
Fiche technique
Analyse du cycle de vie
Analyse économique
Documentation technique transversale
Fiche de présentation du site pilote – Boîte chaude gardée d'ESITC Caen
Fiche de présentation du site pilote – Building Research Park, Université de Bath
Fiche de présentation du site pilote – Waste House, Université de Brighton
Fiche de présentation du site pilote – Campus d'UniLaSalle
Rapport de déploiement – ESITC Caen
Rapport de déploiement – BRP, Université de Bath
Rapport de déploiement – Waste House, Université de Brighton
Rapports d'analyse pour la dissémination
Stratégie de massification des prototypes
Rapport d'enquête : Perception des acteurs français et britanniques sur les matériaux biosourcés et issus de déchets

2. Évaluation des objectifs du programme et du projet

2.1 Résumé des extraits du programme et des projets

Table 1: Résumé des résultats					
Module de travail	Indicateur du programme	Indicateur du projet	Production	Statut	Evaluation
3	2.1 Nombre de produits, de services, de procédés ou de systèmes nouveaux ou améliorés à faible intensité carbonique qui ont été conçus	3.1	Conception du prototype 1	✓	Trois prototypes fabriqués à partir de ressources biologiques et de déchets (maïs, duvets de déchets et paille de blé) ont été conçus, chacun avec ses propres spécifications mécaniques et thermiques
		3.2	Conception du prototype 2	✓	
		3.3	Conception du prototype 3	✓	
4	2.2 Nombre de produits, de services, de procédés ou de systèmes nouveaux ou améliorés à faible intensité carbonique produits	4.1	Production du prototype 1	✓	Le prototype 1 fabriqué à partir de moelle de maïs (un coproduit agricole inutilisé) a été produit. Il a été soumis à des tests en laboratoire et déployé. Une analyse du cycle de vie a confirmé qu'il a une empreinte carbone bien inférieure à celle des isolants standards
5	2.2 Nombre de produits, de services, de procédés ou de systèmes nouveaux ou améliorés à faible intensité carbonique produits	5.1	Production du prototype 2	✓	Le prototype 2 en polyester (provenant de literie usagée, un type de déchet inutilisé par ailleurs) a été produit. Il a été soumis à des tests en laboratoire et déployé. Une analyse du cycle de vie a confirmé qu'il a une empreinte carbone bien inférieure à celle des isolants standards
6	2.2 Nombre de produits, de services, de procédés ou de systèmes nouveaux ou améliorés à faible intensité carbonique produits	6.1	Production du prototype 3	✓	Le prototype 3 fabriqué à partir de paille de blé (un coproduit agricole très courant) a été produit. Il a été soumis à des tests en laboratoire et déployé. Une analyse du cycle de vie a confirmé qu'il a une empreinte carbone bien inférieure à celle des isolants standard.
7	2.4 Nb de participants à des événements de sensibilisation ou de formation de développement ou adoption de TBC	7.1	Sensibilisation des professionnels français et anglaise aux matériaux de construction biosourcés et recyclés	✓	Un très grand nombre de professionnels ont été atteints : environ 19 000 personnes. Cela s'est fait par le biais d'une présence en ligne, d'une enquête de perception, de la diffusion de newsletter, de la distribution de dépliants, d'événements de déploiement et d'expositions, etc
	2.4 Nb de participants à des événements de sensibilisation ou de formation de développement ou adoption de TBC	7.2	Conférences visant à diffuser les résultats du projet auprès des professionnels de la construction	✓	On estime que plus de 1 500 personnes ont été engagées directement par les partenaires du projet SB&WRC à travers des conférences, des posters, des stands, etc.
	2.3 Nombre de réseaux multi-sectoriels dédiés aux TBC soutenus	7.3	Création d'une communauté en ligne dédiée, ouverte et permanente sur la plateforme de Construction21	✓	Deux communautés en ligne ont été créées (une en français et une en anglais) et fréquemment abondées par des newsletters, des articles d'intérêt, etc.

2.2 Revue des cibles du projet et du programme

Tableau 2 : Résumé des cibles			
Groupe cible	Valeur cible	Cibles atteintes	Statut
Enterprise, hors PME	3 550	6 921	✓
PME	15 350	19 565	✓
Recherche et éducation supérieure	15	4 616	✓

2.3 Évaluation de la réalisation des objectifs du programme et du projet

Le projet SB&WRC a atteint tous ses objectifs initiaux et en a dépassé certains : trois prototypes fonctionnels de matériaux isolants fabriqués à partir de trois ressources différentes, chacun d'entre eux ayant une empreinte carbone inférieure d'au moins 25 % à celle des produits isolants conventionnels (ce chiffre exclut le carbone séquestré par les coproduits agricoles). On estime que le travail de sensibilisation a eu des répercussions sur des milliers de professionnels et une grande quantité de données et de livrables ont été produits au cours du projet. **De ce fait, le projet est considéré comme un succès.**

En tant que tel, l'objectif spécifique du Programme Interreg V FMA qui est d'« Accroître le développement et l'adoption des technologies existantes ou nouvelles à faible émission de carbone dans les secteurs qui ont le plus fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre » a été atteint en développant des produits à faible émission de carbone, permettant des économies d'énergie, pour le secteur du bâtiment.

2.4 Discussion des activités du projet

2.4.1 Prototype 1 : moelle de maïs

D'un point de vue technique, le prototype de moelle de maïs est un véritable succès. En effet, en tant que ressource, la moelle de maïs est un candidat idéal en tant que matériau de construction innovant. Les cannes de maïs grain sont actuellement sous-évaluées ou non valorisées et elles sont relativement abondantes, même si toute utilisation actuelle potentielle est déduite de la production annuelle totale dans la zone FMA. La séparation de la moelle de maïs de l'écorce est facilitée grâce à une machine brevetée qui l'automatise. Actuellement, la moelle de maïs ainsi produite est un déchet inutilisé d'un co-produit agricole.

Le matériau de base possède un potentiel thermique étonnant grâce à sa structure alvéolaire native. Le prototype d'isolation à moelle de maïs s'est avéré le plus performant du point de vue de la conductivité thermique, atteignant un λ de $0,042 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. En l'état actuel, le prototype grandeur nature est facile à manipuler avec deux couches extérieures plus denses qui agissent telles des cadres rigides et une couche intérieure moins dense qui agit comme un bon isolant. Sous sa forme actuelle, le panneau mural (le système constructif choisi) est léger, il résiste bien à l'inflammation mais ne supporte pas de charge (faible résistance à la compression).

Cependant, l'étude économique réalisée sur la fabrication du prototype tel qu'il est actuellement construit a mis en lumière que le processus de thermocompression fait augmenter significativement les coûts ; ces derniers sont notamment plus élevés que les matériaux biosourcés hauts de gamme tels que le liège expansé. Des stratégies de minimisation des coûts ont été identifiées et impliquaient notamment l'amélioration de la productivité de la machine et la production de panneaux plus épais.

Ainsi, le prototype de moelle de maïs est particulièrement prometteur puisque la matière première possède une très bonne conductivité thermique. Toutefois, le processus de production actuel nécessite d'être amélioré (en changeant la presse thermique par exemple) ou un système constructif différent pourrait être trouvé afin d'améliorer les coûts de production.

2.4.2 Prototype 2 : polyester réutilisé

L'utilisation de polyester à partir de duvets de déchets est une proposition de valeur formidable. Les déchets de literie ne sont que très peu réutilisés au Royaume-Uni et en France, la plupart du temps ils sont enfouis dans des décharges ou, au mieux, utilisés pour la valorisation énergétique par brûlage. Ses deux principaux débouchés ne font donc pas usage d'un matériau qui, bien que d'origine pétrochimique, a été conçu comme un produit isolant à usage humain.

Le prototype développé consiste en un duvet réutilisé qui a été collecté, trié et nettoyé, puis accroché et agrafé à un cadre en bois. Les essais de déploiement ont révélé une conductivité thermique intrinsèque performante, de l'ordre de $0,043 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ dans les essais réalisés par les partenaires ESITC Caen et Université de Bath, bien que les résultats obtenus à la Waste House par l'Université de Brighton aient démontré une performance inférieure de $0,069 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Cette différence pourrait être potentiellement liée à une différence de densité soit au dispositif expérimental utilisé.

Son ACV est positif notamment en termes d'émissions de carbone par rapport aux produits conventionnels, principalement parce que son procédé n'implique pas de traitement thermique (qui pourrait dégrader sa structure). Toutefois, son évaluation économique s'est avérée particulièrement compliquée. En effet, une partie des données requises pour la modélisation n'a pu être obtenue car le secteur de la collecte et de la gestion des déchets de literie est actuellement en train d'émerger. Par conséquent, une modélisation inversée

a été effectuée et a indiqué que pour vendre le prototype à des prix similaires à ceux des matériaux isolants biologiques et conventionnels existants, une subvention devrait être reçue par le producteur. Ce scénario semble réaliste dans le contexte français, où les producteurs de couettes ont récemment été soumis à l'obligation réglementaire d'assurer la gestion de la fin de vie de leurs produits. L'effort actuel de structuration de la collecte et de la gestion des duvets de déchets en France apparaît comme une opportunité particulièrement intéressante pour le prototype développé, en ligne avec les programmes d'économie circulaire. Enfin, il est apparu qu'une installation de production optimisée serait probablement basée sur un processus de préfabrication.

Un programme de recherche complémentaire serait avantageux, particulièrement pour 1/ déterminer la densité optimale de polyester à installer dans les cadres en bois et 2/ étudier les perspectives de l'économie sociale et solidaire dans la création d'un modèle d'affaire pertinent.

2.4.3 Prototype 3 : paille de blé

La paille de blé est une ressource émergente dans la construction et est très intéressante du fait qu'elle est abondamment cultivée en France et en Angleterre. Si l'on tient compte de ses utilisations actuelles (fertilisation des sols, alimentation du bétail, etc.), quelques millions de tonnes de matériaux sont encore disponibles pour d'autres usages, comme la construction. Les produits actuels à base de paille de blé nécessitent des quantités de matières et une épaisseur de produit plus importantes que les isolants conventionnels pour être thermiquement intéressants lorsqu'ils sont utilisés dans les bâtiments., ce qui a poussé les partenaires du projet à optimiser thermiquement les produits à base de paille afin de réduire les coûts au m² et les ressources nécessaires. Dans ce contexte, la recherche sur la paille visait à optimiser l'orientation des tiges de paille et à augmenter la densité afin de réduire (c'est-à-dire améliorer) la conductivité thermique du prototype.

Malgré le développement réussi d'un procédé qui a permis aux partenaires du projet de réorienter et de comprimer les balles de paille et d'une preuve de concept satisfaisante sur des mini-prototypes (conductivité thermique de 0,044 W.m⁻¹.K⁻¹, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur de l'objectif visé), les prototypes grandeur nature n'ont pas montré les améliorations thermiques souhaitées par rapport aux produits existants.

Si l'ACV donne de bons résultats en ce qui concerne son empreinte carbone (sans tenir compte de la séquestration du carbone obtenue par la culture de plants de blé qui réduirait encore l'empreinte), de nouvelles améliorations du prototype seraient nécessaires pour le rendre économiquement viable par rapport aux balles de construction existantes. En fin de compte, pour les besoins de ce projet, le prototype 3 s'est révélé capable d'innover, mais son exécution est encore entravée par des limitations mécaniques. Des travaux ultérieurs devraient se concentrer sur l'amélioration du processus de transformation, l'objectif final étant de mettre au point une presse à balles qui orienterait automatiquement les pailles dans leur configuration optimale pour la construction.

2.4.4 Aspects liés à la communication

En ce qui concerne les aspects de la communication, de la diffusion et de la vulgarisation, il convient de noter un point essentiel. L'enquête qui a été mise en ligne sur un site d'hébergement professionnel a été diffusée aux partenaires ASBP et Construction21 (ce qui représente un bassin de répondants potentiels estimé à 18 000 personnes). Par la suite, toutes les communications (bulletins en ligne, affiches et dépliants imprimés) ont incité les intervenants de la construction à participer au sondage. L'objectif d'au moins 100 participants de part et d'autre de la Manche s'est avéré difficile à atteindre. Il a fallu plusieurs mois et des sollicitations

continues de la part de la communication et des partenaires principaux pour finalement atteindre ce niveau d'engagement. Cela peut indiquer un manque d'intérêt de la part des intervenants à s'engager avec la communauté ou à participer au développement de nouveaux produits. De plus, seules quelques professions sont bien représentées dans l'échantillon (exemple : architectes) alors que les professionnels de l'assurance ou les travailleurs du bâtiment sont presque absents. Cela peut indiquer que seules certaines catégories de professionnels de la construction se sentent concernées par l'innovation durable dans le secteur du bâtiment. Cela reflète les observations du chef de file Nomadéis selon lesquelles certaines professions socio-économiques sont plus difficiles à s'engager et à mobiliser.

Pour rejoindre des catégories particulières de professionnels de la construction, comme les travailleurs de la construction, dans le contexte d'une enquête de perception, il est recommandé que le financement soit consacré à des approches plus directes. Il peut s'agir de séjours plus longs lors de conférences et d'expositions professionnelles afin de recevoir une rétroaction en personne ou d'une campagne de renseignements par téléphone, ce qui augmente généralement les taux de réponse.

Autrement, tous les autres aspects de la communication (engagement avec les professionnels, participation aux conférences du CPS et CNRF, etc.) ont été couronnés de succès et ont dépassé les objectifs du projet. Comme le montre le tableau 1, des milliers de personnes ont participé d'une manière ou d'une autre aux diverses activités de diffusion et de communication entreprises par les partenaires du projet.

3. Recommandations

3.1 Ressources

1. D'autres ressources méritent d'être étudiées comme les coquilles d'huîtres, la terre cuite et autres déchets de briques et la moelle de colza (cette dernière pouvant avoir des propriétés proches de celle de la moelle de maïs).

3.2 Prototype de moelle de maïs

2. Le développement futur du prototype devra surmonter les défis engendrés par la thermocompression soit en :
 - a. En changeant de système constructif tel que par l'utilisation d'un liant biologique ou par l'utilisation de la moelle comme matériau en vrac destiné à être soufflé ;
 - b. En s'attaquant à ce fardeau économique au travers d'une étude techno-économique visant à l'améliorer et mobilisant des experts notamment.

3.3 Prototypes en polyester réutilisé

3. Des recherches complémentaires seraient nécessaires afin de tester de manière systématique la manière dont le polyester issu des couettes usagées pourrait être mis en œuvre le plus avantageusement possible (niveau de compression, type de revêtement extérieur, enlèvement ou non de l'enveloppe extérieure en polyester tissé, couture de la couette pour faciliter la manipulation, etc.) et dont celles-ci affectent la performance thermique. Idéalement, des tests en laboratoire pourraient déterminer la densité optimale requise. A ce sujet, des tests complémentaires à la Waste House afin de confirmer les performances *in-situ* de ce prototype ;
4. Etant donné que ce prototype s'intègre au sein du paradigme de l'économie circulaire, le réemploi/réutilisation de panneaux en bois pour le cas d'une préfabrication hors site peut être considéré et documenté en se concentrant sur des acteurs locaux de la zone FMA ;
5. Diversifier les systèmes de construction qui peuvent être dérivés de ce matériau : isolation de tuyaux industriels, laine de polyester (produit en vrac) afin d'élargir les opportunités de commercialisation.

3.4 Prolonger les analyses de cycle de vie et économiques

6. Des travaux complémentaires seraient nécessaires pour inclure la fin de vie de chaque produit (qu'il s'agisse de biodégradation, de recyclage, d'incinération,...) dans l'ACV, particulièrement en relation avec les évolutions prévisibles de législation et d'attentes des marchés.
7. Les analyses économiques pourraient également inclure d'autres scénarios possibles tels que ceux rendus possibles par l'économie sociale et solidaire, l'évolution des réglementations européennes ou nationales sur la construction voire l'arrivée de taxes carbone qui favoriseraient les produits issus de ressources végétale ou les déchets réutilisés.

3.5 Autres analyses techniques

8. Étant donné que l'impact des ressources biologiques et des déchets sur la qualité de l'air (moisissure, émission de composés organiques volatils, etc.) est une préoccupation récurrente exprimée par diverses parties prenantes, des études ultérieures sur le prototype proposé devraient comprendre des analyses documentaires et des essais adéquats pour mesurer l'impact des prototypes sur la qualité de l'air intérieur. Une telle étude pourrait également aborder la question de la facilité de déploiement pendant la phase de construction, qui est une préoccupation récurrente pour les travailleurs de la construction. Plus généralement, l'identification des essais complémentaires correspondant premièrement aux exigences réglementaires sur les matériaux de construction ainsi qu'aux attentes du marché (comme par exemple vis-à-vis des risques d'incendie, la durabilité, le compactage (ou la stabilité dimensionnelle), et l'acoustique), puis la réalisation de tout ou partie de ces essais, sont jugés intéressantes dans la perspective de faciliter l'appropriation des prototypes par les industriels.
9. D'une manière plus générale, une compréhension plus approfondie du marché français et britannique de l'isolation à base de biomatériaux est jugée nécessaire pour faciliter la diffusion des prototypes développés. En outre, l'analyse d'impact de l'intégration des prototypes dans l'économie locale (en mettant l'accent sur l'emploi local) serait particulièrement pertinente, notamment comme argument de marché pour les entités privées, mais aussi pour s'assurer un soutien des pouvoirs publics locaux.



Le projet SB&WRC s'inscrit dans le cadre du programme de coopération territoriale européenne Interreg VA France (Manche) Angleterre et bénéficie du soutien financier du FEDER (Fonds européen de développement régional).