



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



DÉVELOPPEMENT DE BÉTONS VÉGÉTAUX À BASE DE COLZA

RÉSULTATS DU PROJET : BIP COLZA

Boubker Laidoudi
FRD-CODEM

Plan



- Présentation de FRD-CODEM
- Etat des lieux des bétons biosourcés
- Histoire de valorisation du colza (Les différents projets)
- BIP Colza (proposer une solution industrielle)
 - ✓ Granulats de colza (Cdc, sourcing, Etude d'impact, etc.)
 - ✓ BINP (étude d'impact, formulation, caractérisation changement d'échelle, ACV)
 - ✓ BIP (étude d'impact, formulation, caractérisation changement d'échelle, ACV)
 - ✓ Conclusions
- Projet OPAL 02 (béton de colza projeté)





**PRÉSENTATION
DE
FRD-CODEM**

FRD-CODEM : Centre de Ressources Technologiques dédié aux écomatériaux et matériaux biosourcés



Des compétences pluridisciplinaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur des écomatériaux et matériaux biosourcés



Réalisation d'études clés en main (marché, ressources, technologiques, écoconception, ACV/FDES, évaluation technique,, etc.)



Réalisation de prestations de recherche et d'innovation sur mesure
→ *Montage et pilotage de projets R&D collaboratifs*



Développement, prototypage et validation des procédés
→ *Production en pré-série de produits innovants*



Caractérisation des matières premières et fractions végétales dans un cadre de R&D et/ou de suivi qualité des produits et procédés
→ *Evaluation et caractérisation des matériaux ; essais pour le Bâtiment sous accréditation COFRAC (Accréditation du CODEM n°1-7319 – Portée d'accréditation disponible sur www.cofrac.fr)*



Fourniture de fibres, granulats, farines, renforts, répondant à votre cahier des charges pour les principaux marchés applicatifs (isolants, bétons, plasturgie, composites, cosmétiques, etc.)



FRD-CODEM : Centre de Ressources Technologiques dédié aux écomatériaux et matériaux biosourcés



TROYES

1 halle technique de 1 000 m²

Outil unique en Europe dédié au fractionnement et à la caractérisation des biomasses végétales

1,8 M€ d'investissement



20 collaborateurs

5,3 M€
d'investissement

UNE ÉQUIPE ÉTUDE

étude stratégique, marché, approvisionnement, écoconception / ACV, etc.

UNE ÉQUIPE R&D

conception de matériaux, changement d'échelle industriel, qualification des matières et matériaux, etc.

AMIENS

1 halle technique de 1 600 m²
Laboratoire d'essai COFRAC

Outil unique en France de changement d'échelle de matériaux bas carbone, notamment pour le bâtiment

3,5 M€ d'investissement



FRD-CODEM : Centre de Ressources Technologiques dédié aux écomatériaux et matériaux biosourcés

Etudes



ETUDE DE MARCHÉ
/ STRATEGIQUE



DEVELOPPEMENT
DES TERRITOIRES



ETUDE SPECIFIQUE
BÂTIMENT



ECOCONCEPTION
ACV

FRD-CODEM : Centre de Ressources Technologiques dédié aux écomatériaux et matériaux biosourcés



R&D

FRACTIONNEMENT FIBRES VÉGÉTALES

Fractionnement

- Identification du cahier des charges matières selon le marché visé
- Définition de l'itinéraire technologique : défibrage/broyage/micronisation
- Fractionnement, calibrage des matières et fiches techniques
- Appui à la 2^{ème} et 3^{ème} transformation



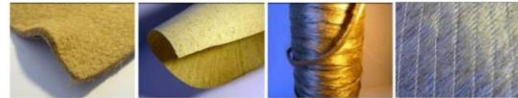
Fourniture de matières à façon

- Fibres longues et courtes
- Fibres micronisées
- Granulats végétaux

COMPOSITES PLASTURGIE

Intégration de matières biosourcés

- Identification et sourcing de renforts et de résines biosourcés
- Intégration de matières premières végétales et de résines biosourcés dans les matériaux



Développement de matériaux

- Etude des procédés (compoundage, infusion, thermocompression, ...)
- Conception de prototypes
- Caractérisations des matériaux



BÉTONS/MORTIERS TERRE

Bétons et mortiers

- Sélection des matières premières (granulats végétaux, recyclés, liants, ...) et transformation/traitement
- Formulation de bétons isolants ou porteurs, chappes, enduits/mortiers
- Changement d'échelle (centrale béton, presse à bloc) et définition des systèmes constructifs



Terre

- Formulation terre/fibres-granulats végétaux pour remplissage, enduits, ...
- Changement d'échelle sur presse à blocs



ISOLANTS PANNEAUX

Isolants

- Sélection de matières premières et transformation
- Développement matériau sur ligne pilote, caractérisations, systèmes constructifs, WUFI, ...



Panneaux

- Panneaux contrecollés / sandwichs sur presse double bande
- Panneaux de particules échelle laboratoire (fractionnement, choix des résines, caractérisations, ...)



FRD-CODEM : Centre de Ressources Technologiques dédié aux écomatériaux et matériaux biosourcés



Laboratoire d'essais Bâtiment

Des essais sous accréditation essentiel pour l'assurabilité des solutions

- **Essais thermiques et hydriques sous accréditation COFRAC (accréditation n°1-7319, portée disponible sur www.cofrac.fr) et autres essais (Physique, mécanique, durabilité, suivi du séchage, ...)**
 - Un gage de qualité sur la métrologie des équipements et une reconnaissance des essais réalisés selon les normes en vigueur

- **Simulation WUFI**

- Modélisation des performances hygriques de la paroi essentielle pour l'obtention d'évaluation technique (ATEX/Atec)



- **La majorité des fabricants d'isolants français ou de filières biosourcés ont mobilisé notre laboratoire d'essais**

- Béton de chanvre



- Bétons végétaux



- Autres isolants





GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS BIOSOURCÉS

Etats des lieux des bétons biosourcés



1- L'innovation vient souvent des producteurs de liants, de l'amont agricole ou des centres techniques et de recherche, plus récemment des préfabriquants.

2- En matière de Recherche & Développement (R&D) :

- Les travaux portent sur la diversification des liants, notamment les liants bas carbone
- Elargissement du champ du possible en matière de sourcing
- Les faire rentrer de plein pied dans le champ la préfabrication et à l'idéal les rendre porteur.
- Quelques travaux portent sur la possibilité d'introduire des fibres végétales en remplacement des fibres métalliques et apporter ainsi des propriétés structurelles.

3- Si les bétons de bois sont leaders sur le marché des murs antibruits, force est de constater qu'en 30 ans les développements des bétons végétaux restent globalement encore **confidentiels**.

4- Leurs avantages différenciants (confort d'été, régulation de l'hygrométrie...) ne sont pas toujours valorisés.

5- Les industriels du secteur, tant des liants que de la préfabrication, mettent sur le marché de réelles réussites techniques, mais les volumes de vente et les chiffres d'affaires associés peinent à se développer

Etats des lieux des bétons biosourcés

Filière biosourcé : des biomasses pour la construction



Une pluralité de solutions, déjà nombreuses, et amenées à se diversifier ...

Bois et dérivés



Bois



Liège



Ouate

Plantes à fibres / huiles



Chanvre



Lin



Colza

Céréales



Blé



Riz

Animales



Mouton

Chimie



Amidon

Coton



Textile

Graminées



Herbe



Bambou



Roseau



Miscanthus

Marines



Algues

Etats des lieux des bétons biosourcés



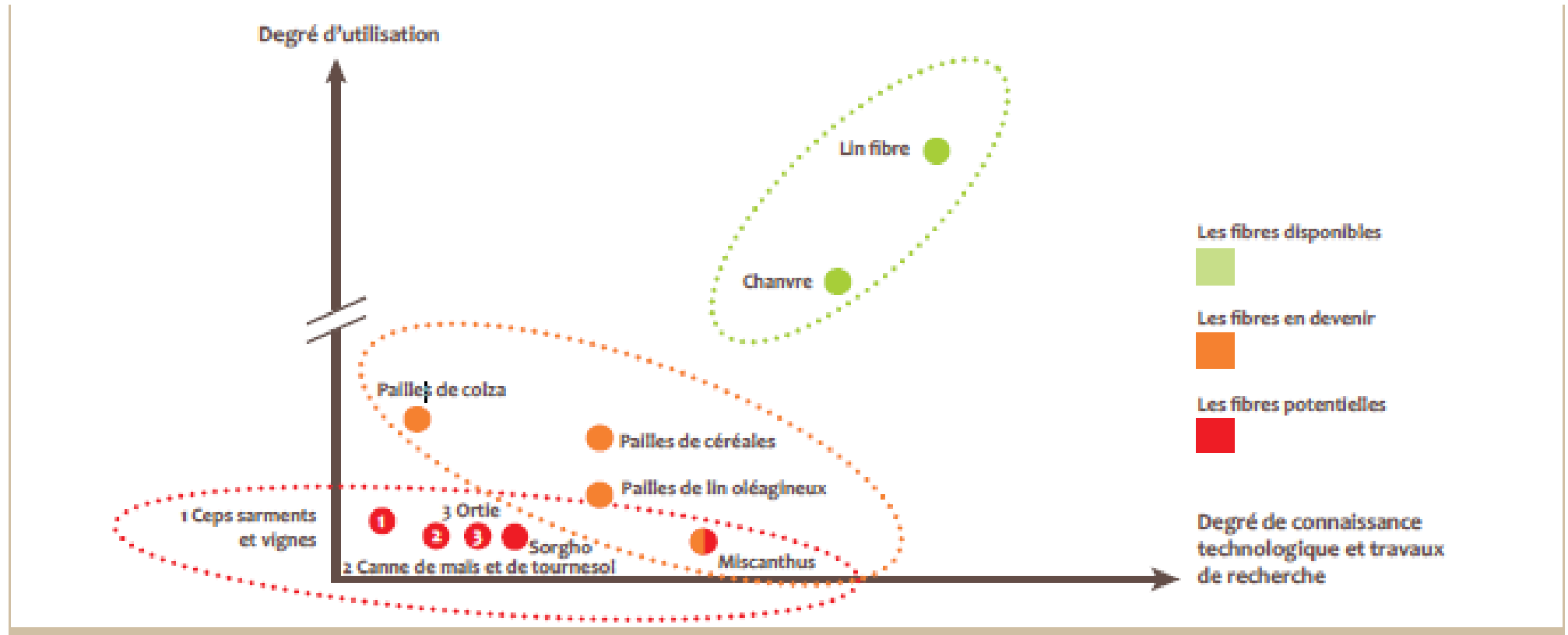
L'ensemble des biomasses faisant l'objet d'une valorisation industrielle effective en matériaux, ou en phase active de R&D, à savoir :

Origine	Exemples de biomasse
Cultures dédiées	Lin fibre, chanvre, miscanthus
Coproduits agricoles	Paille de céréales, cannes de maïs, paille de sorgho, paille de colza, canne de tournesol, paille de lin oléagineux, ceps et sarments de vignes, etc.

Source : Panorama des marchés «Fibres végétales techniques en matériaux» hors bois -Mémento 2020 (FRD)

Etats des lieux des bétons biosourcés

Éléments clés de compréhension

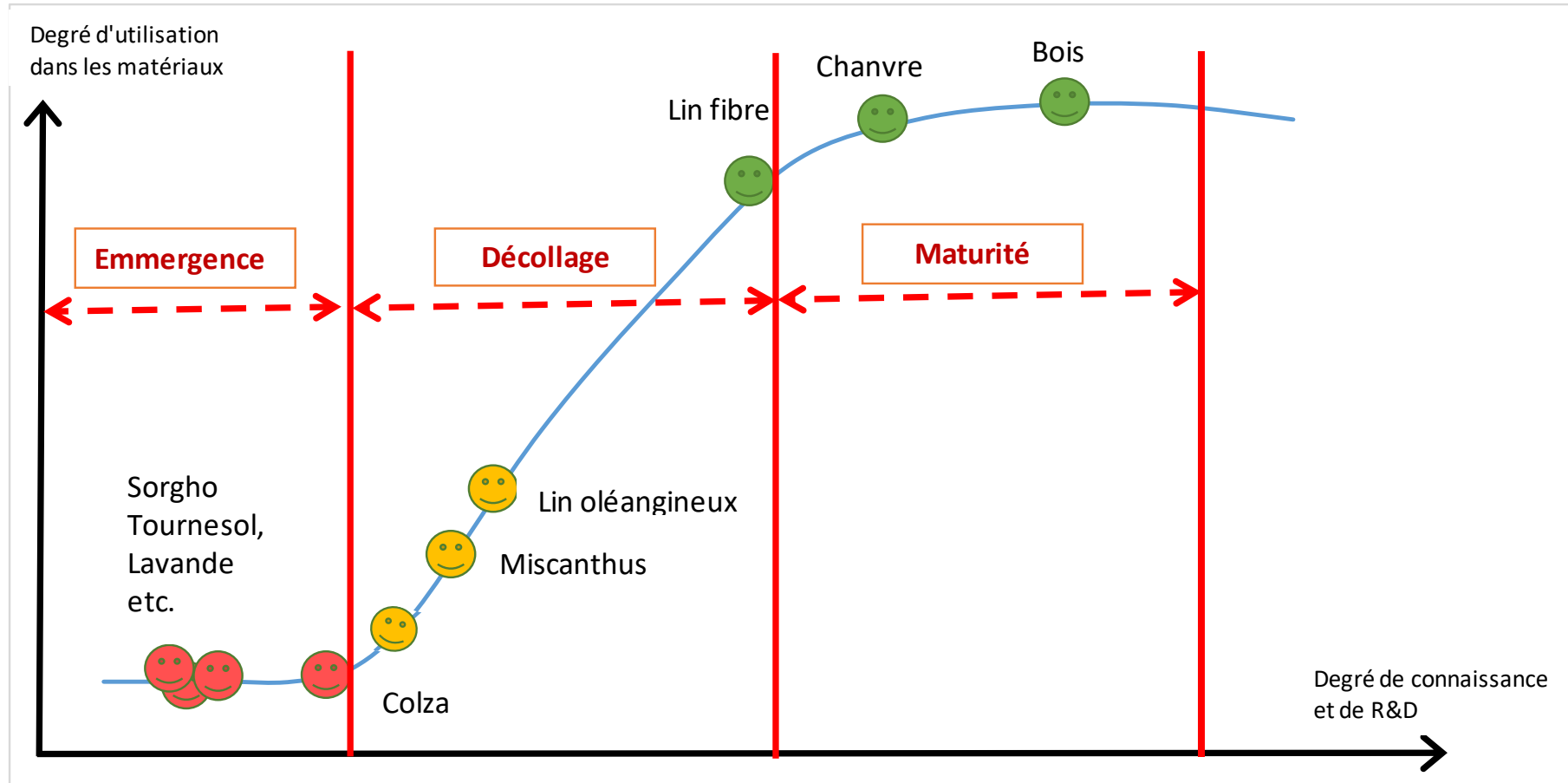


Degré de maturité de l'utilisation des fibres végétales en matériaux en France

Source : Panorama des marchés «Fibres végétales techniques en matériaux» hors bois -Mémento 2020 (FRD)

Etats des lieux des bétons biosourcés

Degré de maturité de l'utilisation des fibres végétales en matériaux



Degré de maturité de l'utilisation des fibres végétales en matériaux en France (source FRD)

Etats des lieux des bétons biosourcés

Domaine d'utilisation et maturité des produits



Type de biomasse	Isolation	Béton isolant (Projeté, Banché, Préfa, etc.)	Blocs isolants de remplissage	Bétons porteurs (BPE, Préfa, etc.)	Blocs porteurs à caractère isolant
Chanvre	Commercialisé actuellement	Commercialisé actuellement	Commercialisé actuellement	En développement	En développement
Bois	Commercialisé actuellement	En développement	Commercialisé actuellement	Commercialisé actuellement	Commercialisé actuellement
Lin fibre	Commercialisé actuellement	En développement	En développement	Futurs développements	En développement
Lin oléagineux	Futurs développements	En développement	En développement	Futurs développements	Futurs développements
Miscanthus	En développement	En développement	En développement	Futurs développements	En développement
Colza	En développement	En développement	En développement	Futurs développements	En développement
Paille de Lavande	Futurs développements	Futurs développements	Futurs développements	Futurs développements	Futurs développements
Tournesol	Futurs développements	En développement	Futurs développements	Futurs développements	Futurs développements
Paille de blé	Commercialisé actuellement	En développement	En développement	Futurs développements	Futurs développements
Balle de riz	Commercialisé actuellement	En développement	Futurs développements	Futurs développements	Futurs développements

Légende	Commercialisé actuellement
	En développement
	Futurs développements

Etats des lieux des bétons biosourcés

Perspectives d'évolution au niveau des usages et des ressources



Période	Isolants biosourcés	Bétons biosourcés	Composites biosourcés
2006	5 000 t* (0,25 %**)	4 100 t* (0,15 %**)	9 500 t (nrs **)
2012	125 000 t (9 %**)	140 000 t (0,7 %**)	29 000 t (9,7 %**)
2020	200 000 à 250 000 t (13 à 16 %**)	230 000 à 310 000 t (1,1 à 1,5 %**)	100 000 t (23 %**)
2030	200 000 à 500 000 t (11 à 27 %**)	250 000 à 750 000 t (1 à 3,1 %**)	140 000 à 250 000 t (19 à 35 %**)

Evolution prévisionnelle de la consommation de matériaux biosourcés en France - bois inclus
(Sources : ADEME 2007 et 2014)
* Pour 2006 : hors isolant semi-rigide et rigide à base de bois pour les isolants biosourcés, et hors béton de bois pour les bétons biosourcés
** Parts de marché des matériaux biosourcés

Source : Panorama des marchés «Fibres végétales techniques en matériaux» hors bois -Mémento 2020 (FRD)

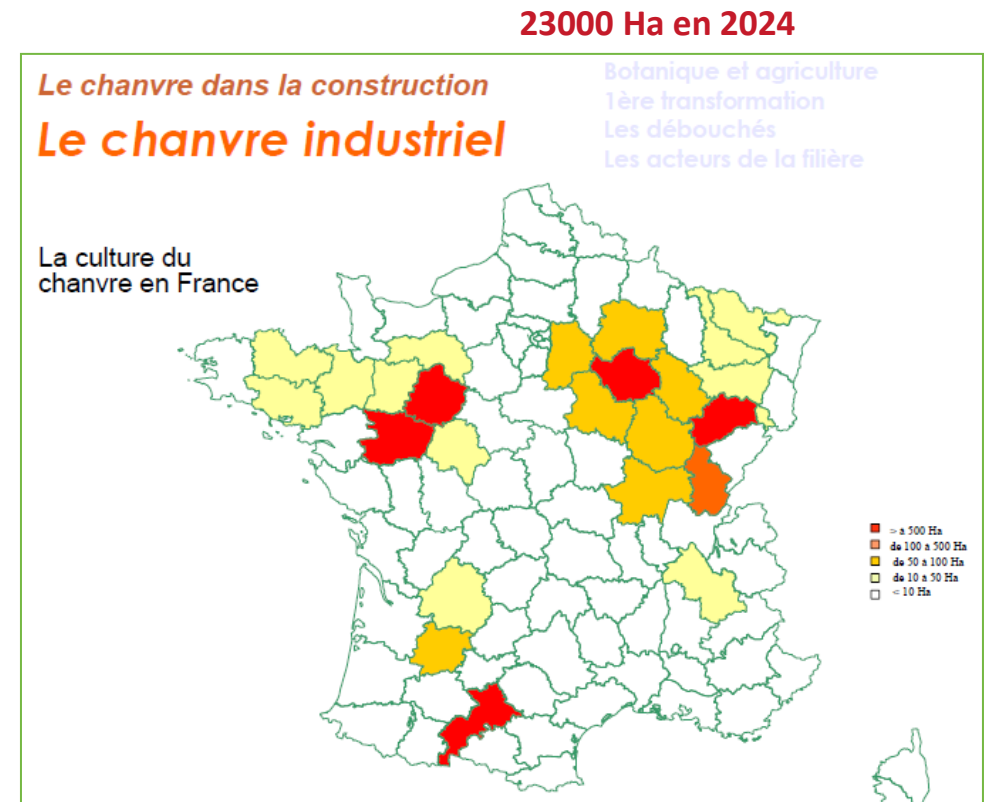
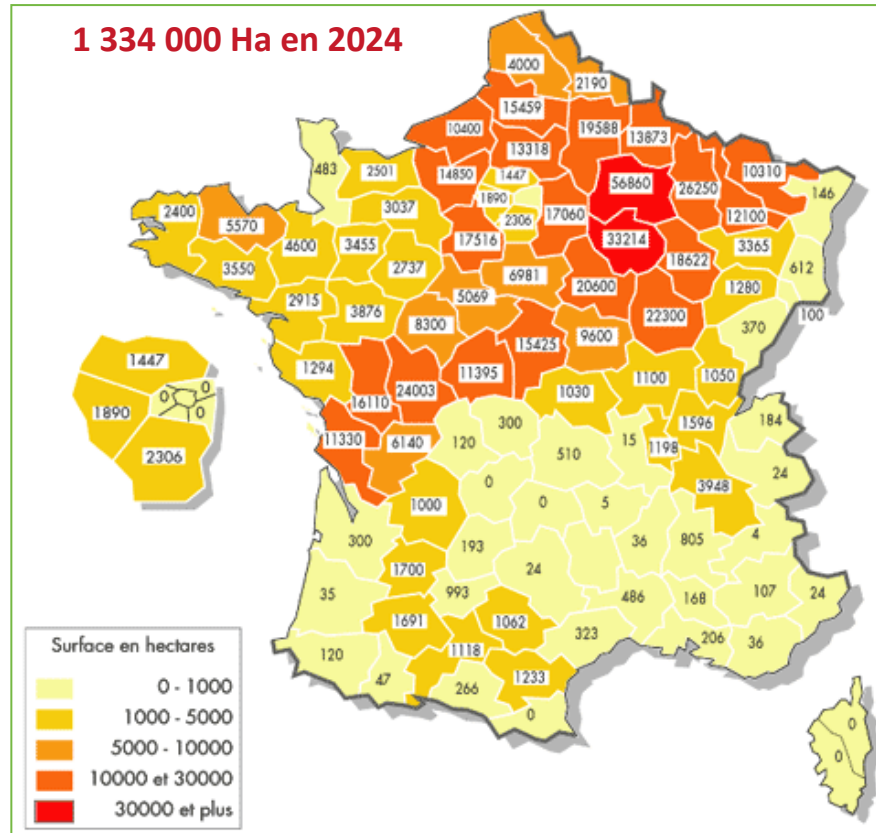


**HISTOIRE DE
VALORISATION DES
PAILLES DE COLZA**

Historiques des projets



Pourquoi la paille de Colza?

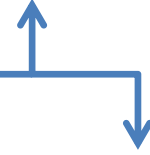
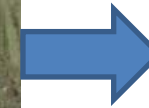
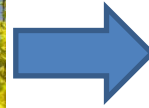


Disponibilité géographique de la paille de colza et du chanvre en France

Historiques des projets



Chaîne de production et typologie des produits



Récolte et stockage de la paille



Passage du broyeur sur les andains de paille de colza

Utilisation actuelle
(Très faible %) :

- Laitières
- Alimentation pour animaux

Historiques des projets



2004 - 2007

CARTOPAILLE

L'objectif de CARTOPAILLE était d'anticiper la demande émergente en biomasse en évaluant la ressource en paille en Picardie et les conséquences sur la fertilité des sols. Les travaux ont permis notamment :

- D'évaluer les répercussions agronomiques liées à l'exportation des pailles,
- De caractériser la ressource en paille de céréales,
- D'évaluer la répartition spatiale du gisement mobilisable en paille compatible avec une agriculture durable.



2011 - 2017

GRANUPAILLE

Ce programme visait à définir les conditions de création de valeur au champ des pailles de colza, via différentes actions :

- Schéma de récolte
- Etude des marchés potentiels accessibles (litières, paillage, bétons, plasturgie ou panneaux)
- Faisabilité technique de la valorisation en béton avec une approche centrée sur la formulation de bétons banchés (2 chantiers pilotes).
- ACV comparative d'1m2 d'un béton classique et de bétons biosourcés en remplissage d'une ossature bois (chanvre et colza)
- Premiers tests de fractionnement



2018 - 2023

BIP COLZA

Encouragé par la demande de Point P, ce projet, à finalité industrielle, vise à formuler et valider la preuve de concept des solutions de bétons préfabriqués en paille de colza :

- Formulation des blocs (>160 tests)
- Caractérisation et étude des performances des blocs
- Validation de la preuve de concept
- Changement d'échelle : réalisation de petite production pilote pour réalisation de construction témoin.
- Réalisation d'un démonstrateur « Parois »
- Identifier un chantier pilote



2025 - 2028

BIP COLZA 2.0

BIP Colza 2.0 a pour objectif de développer les conditions d'industrialisation des blocs de béton de colza, par le biais de 4 actions :

- Bâtir un schéma organisationnel d'approvisionnement en paille de colza
- Définir la plateforme de broyage
- Finaliser le transfert industriel
- Obtenir l'attestation technique d'expérimentation pour la mise sur le marché des matériaux



Projet OPAL : Construction de 4 maisons à Fère-en-Tardenois

Historiques des projets



Projet Cartopaille

La connaissance fine de la ressource = un préalable étudié dans le cadre du projet régional CARTOPAILLE (2004 – 2007)

- L'objectif de CARTOPAILLE était d'**anticiper** la demande émergente en biomasse en **évaluant** la ressource en paille en Picardie ainsi que les **conséquences** sur la fertilité des sols.
- Les travaux ont été menés de 2004 à 2007 afin notamment :
 - D'évaluer les répercussions agronomiques liées à l'exportation des pailles,
 - De caractériser la ressource en paille de céréales,
 - D'évaluer la répartition spatiale du gisement mobilisable en paille compatible avec une agriculture durable.
- Ils ont été coordonnés par Coopénergie (bras armé de la FRCA de Picardie), en partenariat avec l'INRA, ARVALIS, UniLaSalle, les Chambres d'Agriculture de Picardie et Agrotransfert.



Historiques des projets

Projet Cartopaille

La connaissance fine de la ressource = un préalable étudié dans le cadre du projet régional CARTOPAILLE (2004 – 2007)



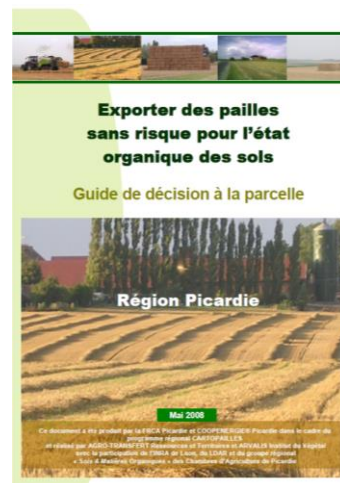
<http://www.simeos-amg.org/>

- Pailles de colza généralement non exportées → retour au sol privilégié pour son apport en NPK (azote, phosphore, potassium) et en matière organique.
- Possibilité d'exporter 1 paille sur 6 sans diminuer significativement la fertilité des sols → *modélisation via l'outil SIMEOS AMG outil de simulation de l'évolution des teneurs et stocks en C organique du sol fondé sur le modèle AMG. Un modèle porté par l'INRA, Agro-Transfert, Arvalis, le LDAR et Terres Inovia.*

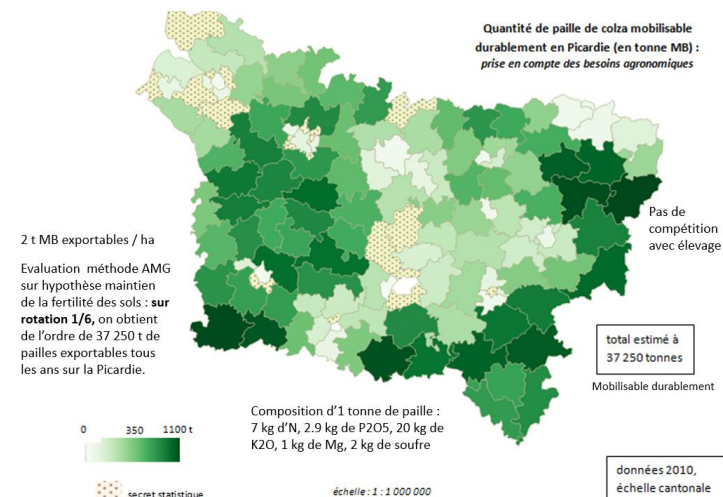
Guide de décision à la parcelle sur la gestion de l'export OU NON des pailles

Source : Coopénergie, 2008

<http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/02/Exporter-des-pailles-sans-risque-pour-l-etat-organique-des-sols.pdf>



Evaluation du gisement durablement mobilisable



Source :
Coopénergie 2011/
Cartopaille

Historiques des projets



Projet Granupaille (2011-2017)



Pourquoi granupaille ?

Idée du projet : Valoriser les propriétés intrinsèques de la paille de colza dans le secteur de la construction (isolation, rénovation, etc.)

→ 3 Etudes réalisées sur le projet granupaille (2011-2017) :

- 1- Etude faisabilité (CODEM) : Exploration de 3 voies de valorisation (Béton banché, blocs isolants porteurs et isolation en vrac);
- 2- Etude R&D (CODEM - CRDA) : Formulations des bétons banchés et isolants en vrac (traitement des granulats + essais d'insufflation)
- 3- Etude de marché : CODEM et FRD

Historiques des projets



DYNAMIQUE DE CRÉATION D'UNE VALORISATION D'UNE RESSOURCE ABONDANTE

Granupaille (2011-2017)



GRANUPAILLE a permis :



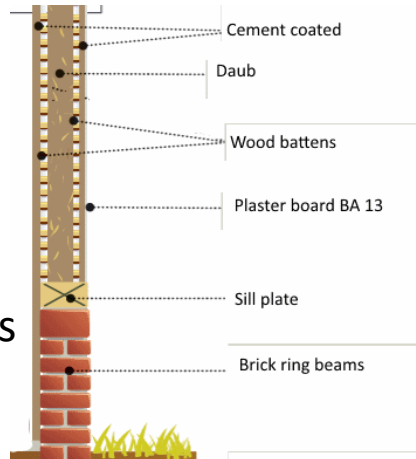
- D'investiguer la **faisabilité technique** de la valorisation de ces pailles dans le domaine des bétons et de l'isolation en vrac.
- De réaliser **une étude de marché détaillée du potentiel de valorisation de ces pailles** dans le domaine des litières, du paillage, des bétons, de la plasturgie ou des panneaux.
- De conduire une analyse des schémas de récolte, **d'identifier les acteurs clés** déjà en places et **des conditions de création de valeur** potentielle au champ.
- De réaliser des premiers tests de fractionnement de ces pailles et de **pré-dimensionner (dans une logique d'avant-projet sommaire) une unité industrielle** de préparation de la paille de colza.
- De conclure sur une **chaîne de valeur potentielle** et de protéger la marque Granupaille.
- De **déposer le dossier de financement du projet BIP Colza par l'ADEME**, dans le cadre d'un consortium de projet réunissant Point P, Coopénergie, le CODEM et l'Université Picardie Jules Verne.

Historiques des projets



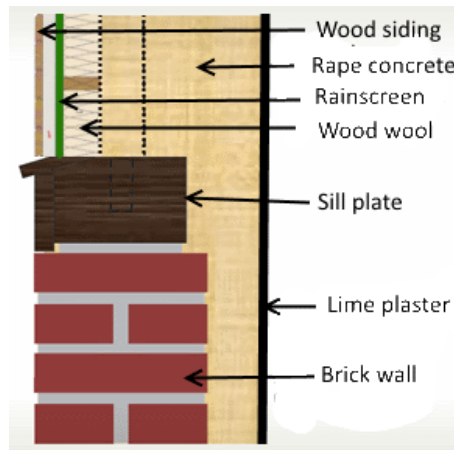
Chantier de Namps au Mont (Quevauvillers – La somme)

Système constructif initial
(+1^{ère} rénovation dans les années 1970)



Composition de la paroi de l'extérieur vers l'intérieur : Enduit ciment, Torchis, laine de verre et Placo

Paroi rénovée
($R = 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)



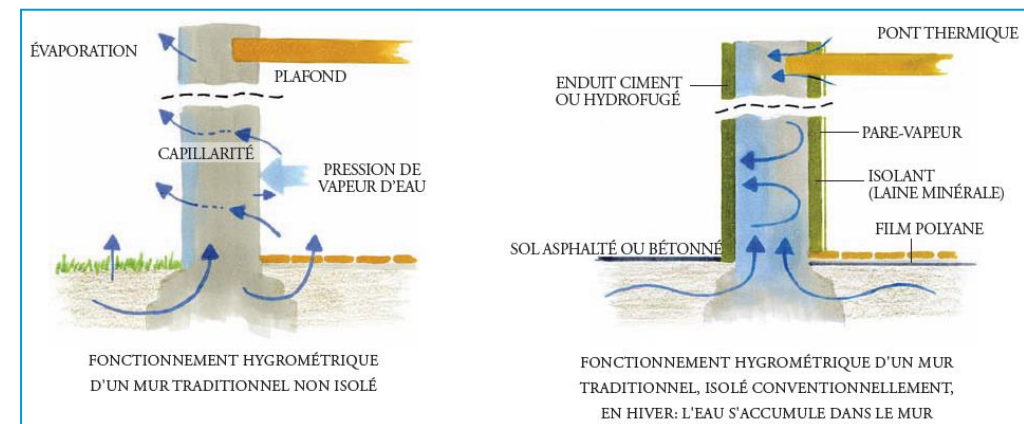
Façade extérieure : après rénovation (+4 semaines)



Historiques des projets



Cas d'école : la maison picarde du début du siècle



Historiques des projets

2^{ème} projet de rénovation: Croixroult – 2015 (Somme)
Travaux réalisés par la société Novhisol

Granupaille



- Même système constructif initial que le premier chantier (avant 1^{ère} rénovation)
- Rénovation avec enduit sur isolant en extérieur

Historiques des projets



Synthèse

Utilisation de paille de colza en bloc (isolant, porteur) et vrac. Etapes clés :

- Disponibilité durable de la ressource et valeur ajoutée créée en amont
- Chaîne de transformation : plateforme de broyage...
- Innovation : validation des preuves de concept
- Tests & chantiers pilotes
- Pas de contre-indication à développer un système constructif à base de béton de colza
- Validation économique, réglementaire et environnementale
- Recherche de solutions de massification
- Opportunité de 4 premiers chantiers en 2023
- Mise en place d'un questionnaire de retour d'expérience des occupants et artisans ayant participé aux projets (fin 2021)



PROJET BIP COLZA
2018-2022

BÉTONS **I**NDUSTRIELS
PRÉFABRIQUÉS EN
GRANULATS DE **COLZA**

Projet BIP Colza (2018-2022)



Partenaires du projet



cérèsia



POINT.P
Matériaux de Construction

Financeurs



Ce projet est cofinancé par l'Union européenne avec le Fonds européen de développement régional (FEDER)



Objectifs : Développement de 2 éléments préfabriqués en béton de colza

- *Un bloc « isolant » de remplissage Non porteur* il sert en neuf à isoler en remplissage une ossature en béton armé ou en bois, et en rénovation à isoler un mur préexistant par l'extérieur ou l'intérieur.
- *Un bloc « porteur »* destiné à la construction neuve, qui même si il est optimisé en matière d'isolation nécessite d'être doublé par un isolant rapporté.

Projet BIP Colza

Objectifs du projet



Blocs isolants non porteurs (BINP)



Granulats de pailles de colza



Convoiyage



Malaxage (avec liants, eau, etc.)



Vibro Compactage



Objectifs du Projet BIP – COLZA (schéma de principe)



1^{er} cycle de transformation

Projet BIP Colza

Objectifs du projet

Blocs isolants porteurs



Granulats de pailles de colza



Convoyage



Malaxage (avec liants, eau, etc.)



Granulats de paille de colza stabilisés



1^{er} cycle de transformation

Objectifs du Projet BIP – COLZA (schéma de principe)

Etape préliminaire : inertage des granulats de colza

Projet BIP Colza

Objectifs du projet

Blocs isolants porteurs



Objectifs du Projet BIP – COLZA (schéma de principe)

➔ 2nd cycle de transformation



Granulats de paille de colza stabilisés



Convoiyage

Malaxage (avec liants, eau, etc.)



Vibro Compactage



Blocs Isolants Porteurs

Caractérisation des granulats de colza

Caractérisation des granulats de colza

Cahier des charges granulats de colza



Exemples d'exigences CdC :

- Origine géographique / Variété
- Heure de récolte
- Temps écoulé entre la récolte des graines et le ramassage de la paille
- Conditions de stockage
- Teneur en eau avant broyage
- La couleur
- La pollution
- Granulométrie (analyse d'image?, Analyse granulométrique par tamisage?)
- Teneur en poussières
- Capacité d'absorption d'eau
- Conductivité thermique
- Composition chimique
- Spécification de la transformation de la matière (broyage)
- Masse volumique après broyage
- Conditionnement après broyage
- Coûts
- Etc.

Caractérisation des granulats de colza

Cahier des charges granulats de colza

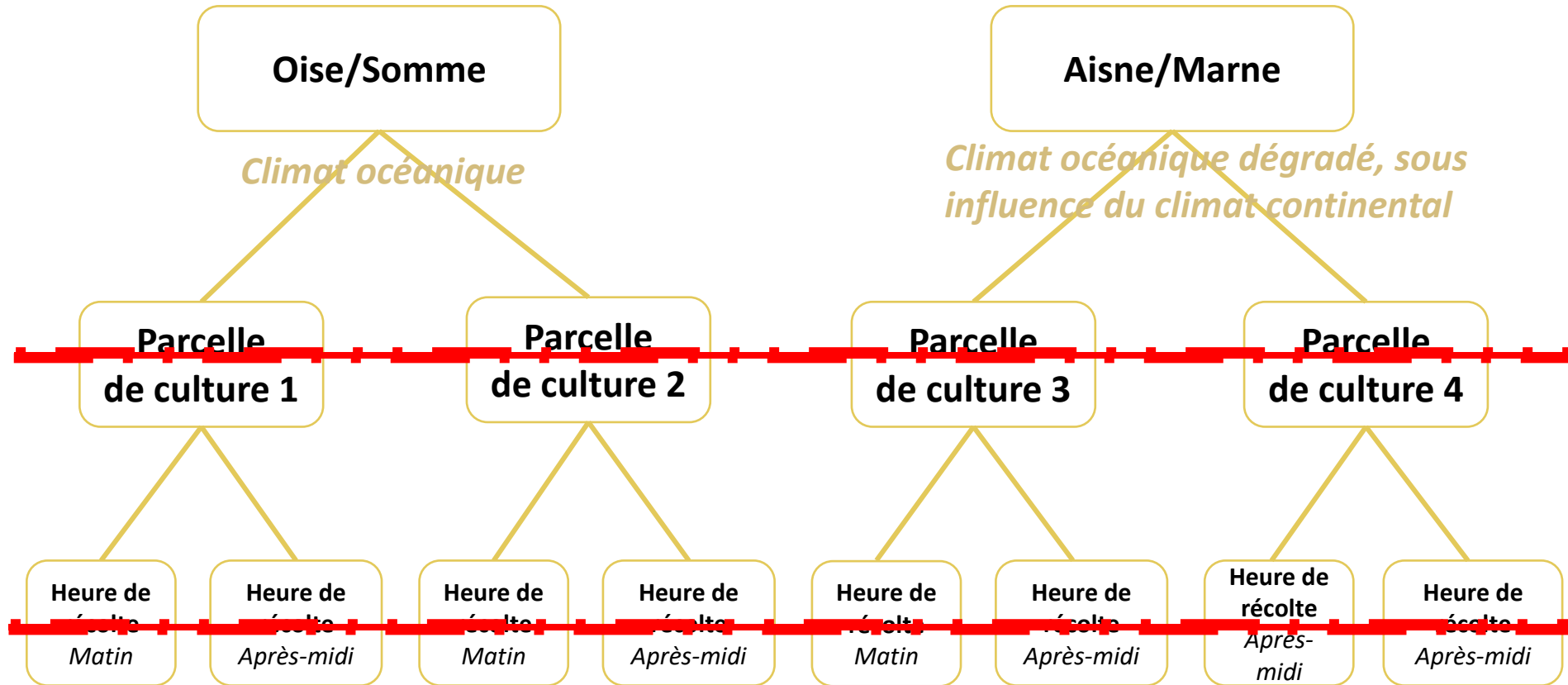


Exigence	Niveau de criticité (C/NC)	Seuil min	Seuil max	Type d'essai/contrôle	Périodicité de contrôle qualité
Granulométrie					
Longueur du plus gros granulat (L_{max})					
Taux de poussières (passant au tamis 0,25 mm)					
...					
...					
Pollution (terre, cailloux, autres végétaux)					
Humidité					
Absorption d'eau					
Coût/T ou coût/m ³					
...					
...					
...					

Caractérisation des granulats de colza



Plan d'échantillonnage de la paille de colza dans le projet



→ Informations non disponibles par manque de traçabilité pour les lots fournis

Caractérisation des granulats de colza



Broyage de la paille de colza

Choix des lots :

- Sélection de 3 lots : Marne 2016 (M16), Marne 2015 (M15) et Somme 2016 (S16);
- Utilisation de 2 modes de broyage : impact et cisaillement;
- Préparation de 3 classes granulaires : GG, GM et GP;
- Détermination de la composition chimique des lots sélectionnés

Objectifs :

- Influence du climat (*Climat océanique pour la somme. climat océanique dégradé, sous influence du climat continental pour la marne et l'Aisne*);
- Influence de l'année de récolte;
- Influence de la granulométrie;
- Influence du type de broyage :
- Influence de la composition chimique des pailles de colza sur les propriétés des granulats.

Données manquantes

- Itinéraires techniques des 3 lots
- Traçabilité sur la variété
- Rendement des pailles
- Durée entre la récolte des graines et le ramassage des pailles
- Conditions de stockage après ramassage des pailles
- Apport en engrais NPK (azote, phosphore, potassium)
- Taux de rendement du broyage pour chaque classe granulaire

Caractérisation des granulats de colza

Cahier des charges granulats de colza

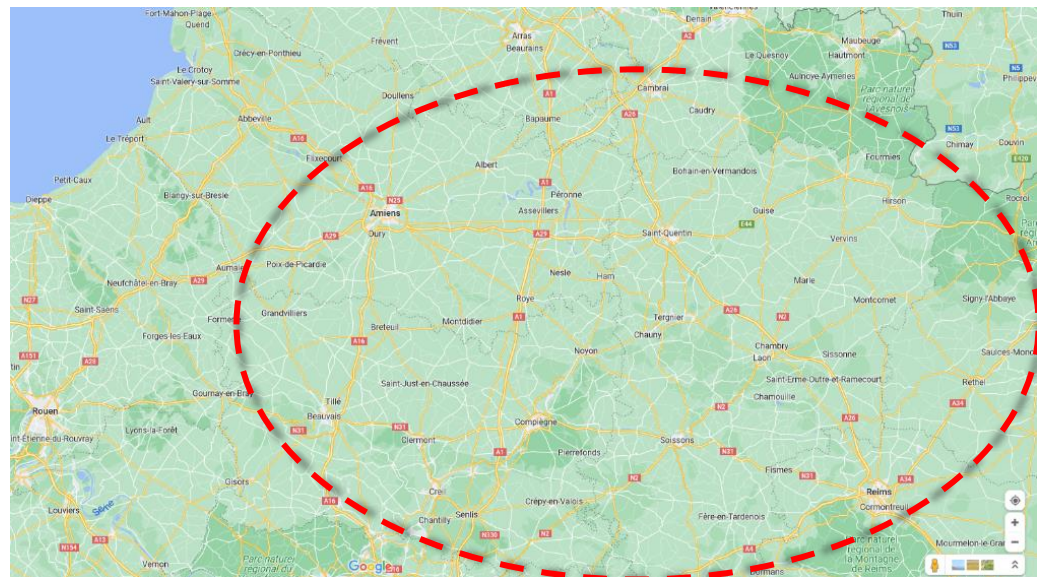


Caractérisation des granulats de colza



Principales caractérisations étudiées

Echantillonnage des pailles de colza
(Somme, Marne et Aisne)



Type de caractéristiques

Critère d'analyse

I – Composition chimique

II – Teneur en humidité

III – Masse volumique (apparente, sèche et après conditionnement à 23°C et 50% HR)

IV – Distribution Granulaire

V – Absorption d'eau par immersion



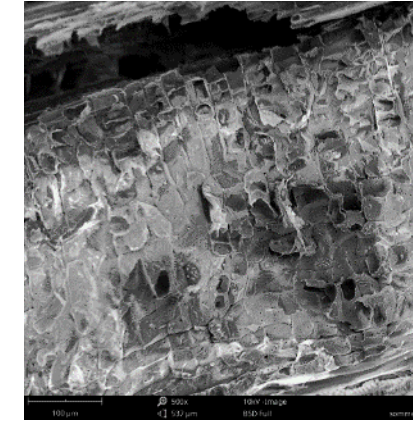
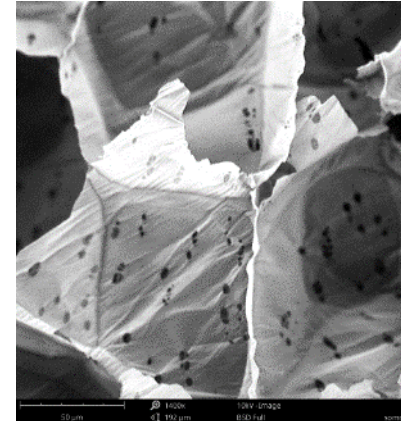
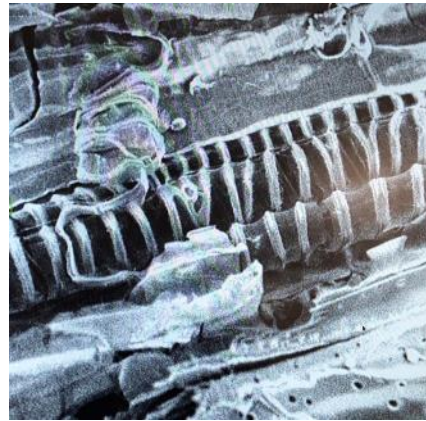
A – Influence du type de broyage
B – Influence de l'année de récolte
C – Influence du climat
D – Lieu du broyage

Caractérisation des granulats de colza

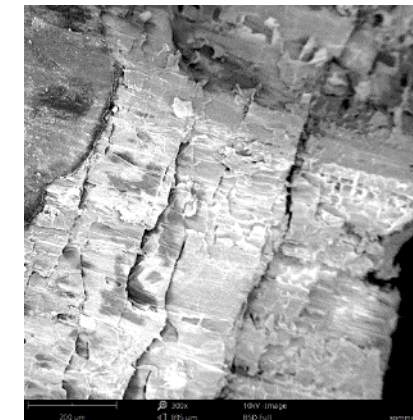
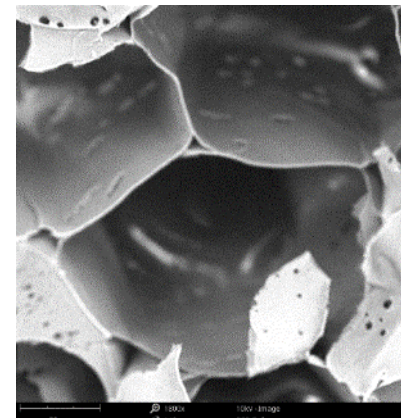
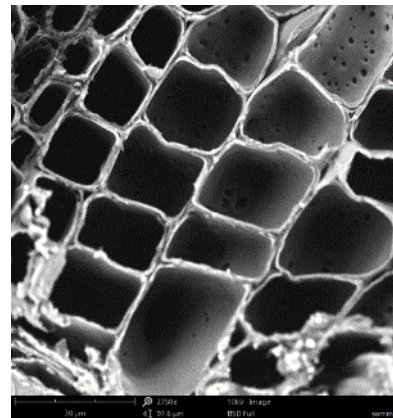


Caractérisation microstructure : MEB

Coupe
transversale



Coupe
longitudinale



Caractérisation des granulats de colza



Composition chimique des granulats

Identification des lots	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Solubles	Matières inorganiques
Marne 2016*	51,4%	9,3%	8,4%	29,9%	0,9%
Somme 2016	53,2%	15,0%	10,5%	20,9%	0,4%
Marne 2015	55,2%	12,1%	10,9%	21,4%	0,4%

- Composition chimique différente des 3 lots : Variété? Dégradation pour Marne 2016 *?
- Taux de solubles est très important pour le lot Marne 2016 !

* **Marne 2016** : → Modification de la composition chimique ? ↑ Des taux de solubles? ↑ de la porosité? ↓ (Lignine, cellulose, hémicellulose)?

Caractérisation des granulats de colza



Présence de paille dégradée

Marne 2016 : Dégradation de la qualité des pailles de colza :

- Des développements de moisissures ont été relevés lors de l'ouverture de la balle de colza,
 - Présence d'une grande quantité de cailloux dans la balle (pollution),
- Modification de la composition chimique ?



Caractérisation des granulats de colza



Rédaction d'un cahier des charges agricole



CODEM
LE BATLAB

Projet de Cahier des charges agricole pour l'utilisation des pailles de colza dans la construction (Récolte, stockage et contrôle qualité)

Guide d'analyse visuelle de la qualité des pailles de colza

Aspect visuel	Conformité des pailles de colza
	Balles de pailles de colza non conformes
	Balles de Pailles de colza conformes

Caractérisation des granulats de colza



Masse volumique apparente

Identification	Lieu	Climat	Année de récolte	Lieu de broyage	Type de broyage	Classe granulaire (mm)	Masse volumique apparente (kg/m³)
Marne 2015	Marne	Océanique dégradé	2015	1	Cisaillement	GM	68
				2		GP	97
2016			1	Impact	GM	59	
				Cisaillement	GM	62	
Somme 2016	Somme	Océanique	2016	1	Cisaillement	GP	80
						2	GM
Aisne 2015	Aisne	Océanique dégradé	2015	2	Cisaillement	GM	72
						GP	104
Mélange*	-	Océanique + Océanique dégradé	2015 & 2016	2	Cisaillement	GM	61
						GM	72

→ Impact du climat, de l'année de récolte et le lieu de broyage (type du matériel utilisé)

Caractérisation des granulats de colza



Absorption d'eau des granulats de colza à 60 min

Identification du lot	Tailles des granulats	Type de broyage	Taux d'absorption d'eau (%)	
			À l'état sec	À 23°C/ 50% HR
M15	GM	Cisaillement	355%	348%
	GP	Cisaillement	431%	427%
S16	GM	Cisaillement	396%	381%
	GP	Cisaillement	424%	404%
M16	GM	Cisaillement	420%	388%
		Impact	397%	387%
	GP	Cisaillement	441%	423%

→ Impact modéré de l'année de récolte et du lieu de broyage (type du matériel utilisé)

Caractérisation des granulats de colza



Conclusions sur l'étude d'impact

	Type de Broyage	Année de récolte	Climat	Lieu du broyage
Teneur en humidité	=	++	++	++
Absorption d'eau	=	+	=	+
Masse volumique apparente	+	++	++	+
Distribution granulaire	=	+	++	++
Taux de poussières	=	+	++	++
Conclusion	=	+	++	++

Conclusions à pondérer par rapport à :

- L'absence d'informations sur les pailles de colza (variété, itinéraire technique, etc.)
- Le nombre de lots analysés
- Dégradation du lot Marne 2016
- Etc.

Légende	
++	Influence importante
+	Influence moins importante
=	Pas d'influence

Blocs isolants non porteurs (BINP)

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Formulation et caractérisation des matériaux (3 boucles de formulations)

Cahier des charges

- Résistance à la compression (R_c 28 jrs)
- Masse volumique apparente (ρ 28 jrs)
- Conductivité thermique sèche (λ)
- ...

Formulation & caractérisation à l'échelle laboratoire

- 3 Boucles de formulation (liants, dosages, granulo, lieu du broyage, etc.)
- Caractérisation des matériaux
- Etude d'impact de la variabilité des granulats sur les performances des formulations

Changement d'échelle (Procédé d'industrialisation)

- Procédé de fabrication des blocs
- Caractérisation des blocs

Amélioration des formulation & caractérisation

- Formulation et caractérisation (cdc identique)
- ACV

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Formulation et caractérisation des blocs isolants non porteurs (échelle laboratoire)



Etude préliminaire
« Etude qualitative »

≈ 60 formulations



Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Formulation et caractérisation des blocs isolants non porteurs (échelle laboratoire)



> 100 formulations

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Type de caractéristiques	Critère d'analyse
I – Résistance à la compression	A – Climat B - Année de récolte (Composition chimique)
II – Conductivité thermique	C – Granulométrie D – Type de broyage E – Adjuvantation

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Formulation et caractérisation des blocs isolants non porteurs (échelle laboratoire)

Référence Form.	Référence des granulats utilisés	Essais de résistance à la Compression à 28jrs		Essais de résistance à la Compression à 60jrs		Conductivité thermique (Etat sec)	
		Masse volumique apparente (Kg/m ³)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique apparente (Kg/m ³)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique (Kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.K)
EF1	S16-GP	387	0,11	378	0,07	352	0,077
EF2	M15-GP	392	0,11	395	0,08	345	0,073
EF3	A15-GM	417	0,16	423	0,18	393	0,086
EF4	S16-GM	421	0,22	418	0,22	382	0,090
EF5	M15-GM	448	0,27	446	0,27	395	0,092
EF6	A15-GM	439	0,29	439	0,26	391	0,102
EF7	S16-GM	427	0,25	417	0,27	353	0,085
EF8	M15-GM	407	0,27	394	0,20	322	0,081
EF9	A15-GM	416	0,2	399	0,21	291	0,093
EF9b	S16+M15+A15-GP	415	0,28	401	0,27	350	0,096
EF10	M15-GM	432	0,29	404	0,25	350	0,093
EF11	S16-GM	414	0,25	404	0,23	348	0,094
EF12	A15-GM	416	0,19	405,	0,21	351	0,089
EF13	S16-GM	332	0,1	-	-	-	-
EF14	S16-GP	318	0,03	-	-	-	-

Exemple des caractéristiques de quelques formulations

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Conclusions

	Essais mécaniques		Conductivité thermique	
	Masse vol. kg/m ³	Rc (MPa)	Masse vol. kg/m ³	l (W/m.K)
Climat	+	+	+	+
Année de récolte (Composition chimique)	++	++	++	++
Granulométrie	++	++	++	++
Type de broyage	++	+	++	+
Adjuvantation	=	=	=	=
Conclusions	++		++	



Légende	
++	Influence importante
+	Influence moins importante
=	Pas d'influence

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)

Changement d'échelle sur une ligne pilote



Presse à blocs (vibro-compaction)



Tableau sur l'écran :



Projet BIP Colza

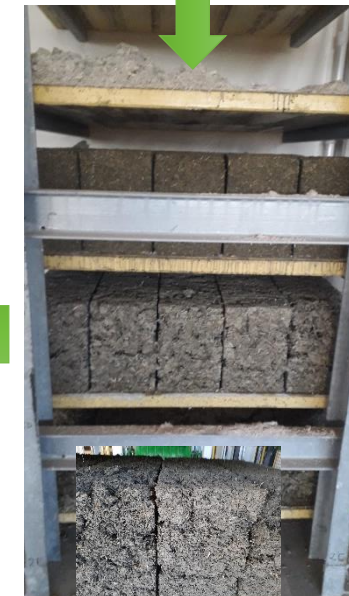
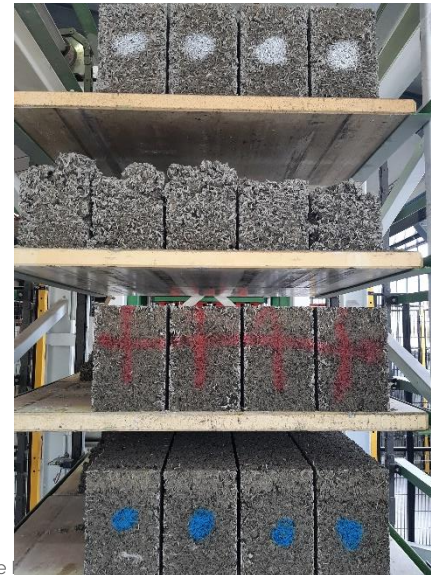
Blocs isolants non porteurs (BINP)



Changement d'échelle sur une ligne pilote



Procédé



Adaptation de la formulation au changement d'échelle

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Face supérieure des blocs



Conservation des blocs



Découpe des blocs pour les essais de caractérisation



Aspect de la surface de découpe (absence totale de farinage)

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Caractérisation des blocs isolants non porteurs

Référence	Masse volumique à l'état frais (kg/m ³)	Caractérisation mécanique à 28 jrs		Caractérisation thermique à l'état sec	
N° de procédé		Masse volumique du bloc (kg/m ³)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique sèche du bloc (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.K)
P3	528	436	0,1	341	0,089
P3a	508	464	0,13	369	0,091
P4	539	438	0,21	372	0,089
P5	556	477	0,28	384	0,096
P5a	519	455	0,31	352	0,087
P5b	519	441	0,23	348	0,088
P6	519	459	0,13	356	0,092
P6a	503	450	0,12	347	0,089
P6b	642	518	0,15	425	0,095

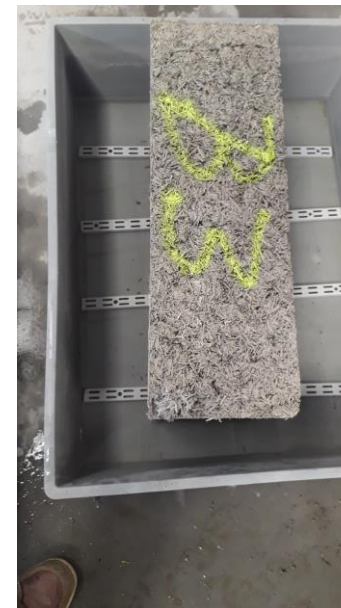


Blocs isolants non porteurs (BINP)

Caractérisation de la meilleure formulation (formulation et procédé)

NF EN 771-3+A1 : Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 3 : éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)

N° de chapitre de la norme	Caractéristique	Norme de mesure
5.2	Dimensions et tolérances	NF EN 772-16
5.4	Masse volumique	NF EN 772-13
5.5	Résistance mécanique (à la compression)	NF EN 772-1
5.6	Propriétés thermiques	NF EN 12667
5.8	Absorption d'eau par capillarité	NF EN 772-11
5.9	Variations dimensionnelles	NF EN 772-14
5.10	Perméabilité à la vapeur d'eau	NF EN 12572



Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Fiche Technique de la meilleure formulation

Résistance à la compression ($R_{c_{28\text{jrs}}}$)	0,31 MPa
Masse volumique apparente ($r_{28\text{jrs}}$)	455 kg/m ³
Masse volumique sèche (r_{sec})	350 kg/m ³
Conductivité thermique sèche (l_{sec})	0,080 W/m.K
Coefficient de sorption par capillarité	5,93 g/m ² s ^{0,5}
Variations dimensionnelles extrême	<ul style="list-style-type: none">▪ Gonflement = 2,2 mm/m▪ Retrait = 4,81 mm/m→ <u>Amplitude = 7 mm/m</u>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau	<ul style="list-style-type: none">▪ Sd = 0,165 m▪ $\mu = 5,16$

- Plus d'une centaine de formulations ont été réalisées pour élaborer des blocs isolants non porteurs.
- Les résultats obtenus à l'échelle laboratoire ont permis de sélectionner les deux meilleures formulations pour le changement d'échelle.
- Les essais de changement d'échelle réalisés sur ces deux formulations ont permis de valider le procédé et la formulation optimale par rapport aux exigences du CdC.
- Une amélioration des performances environnementales de cette application a été opérée grâce à l'emploi d'un liant bas carbone.
- Les blocs obtenus suite au changement d'échelle présentent des surfaces et des arrêtes très propres.

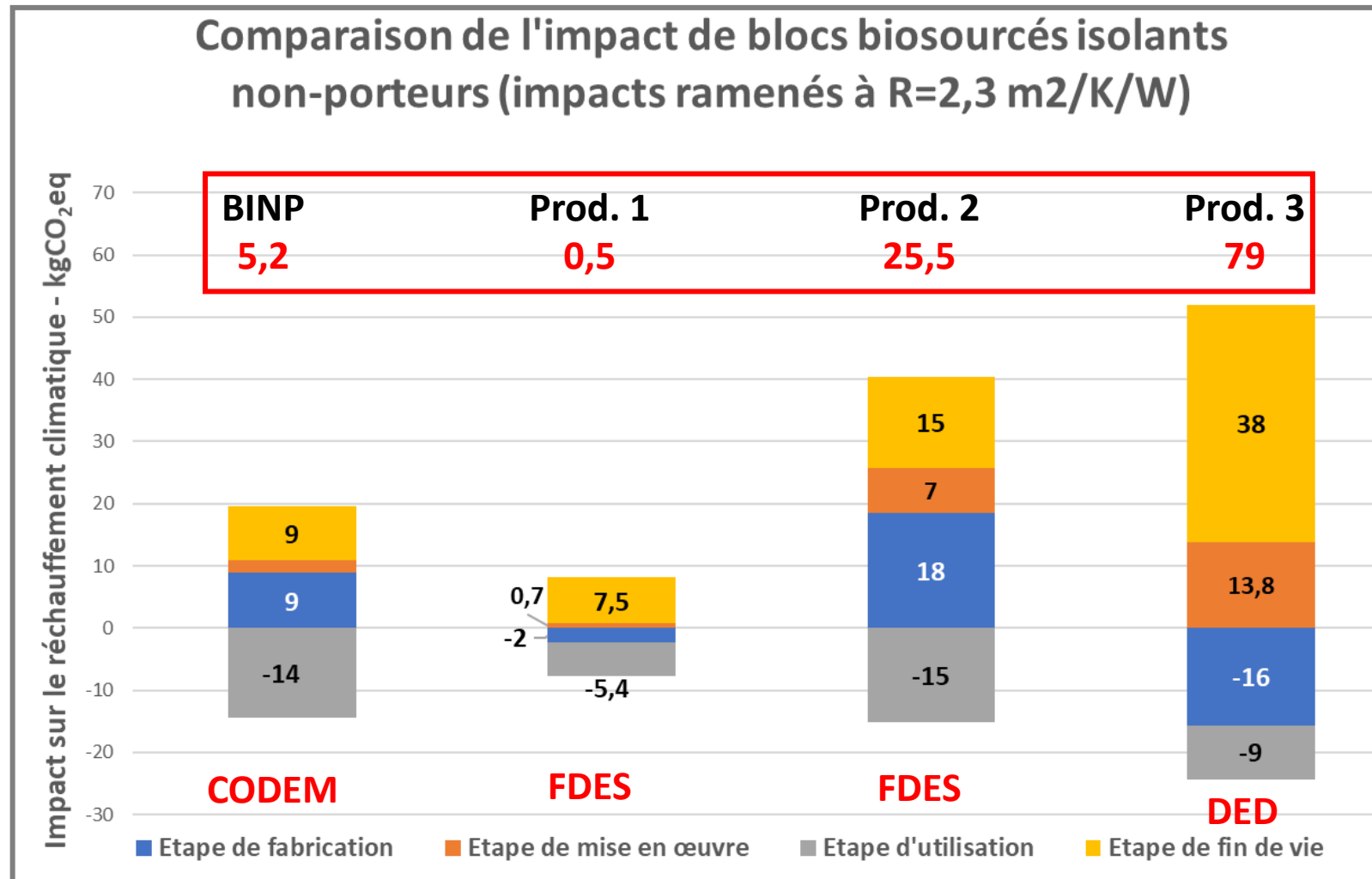
Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)

ACV - E-conception



- Phase 1 : Évaluation environnementale du béton de colza

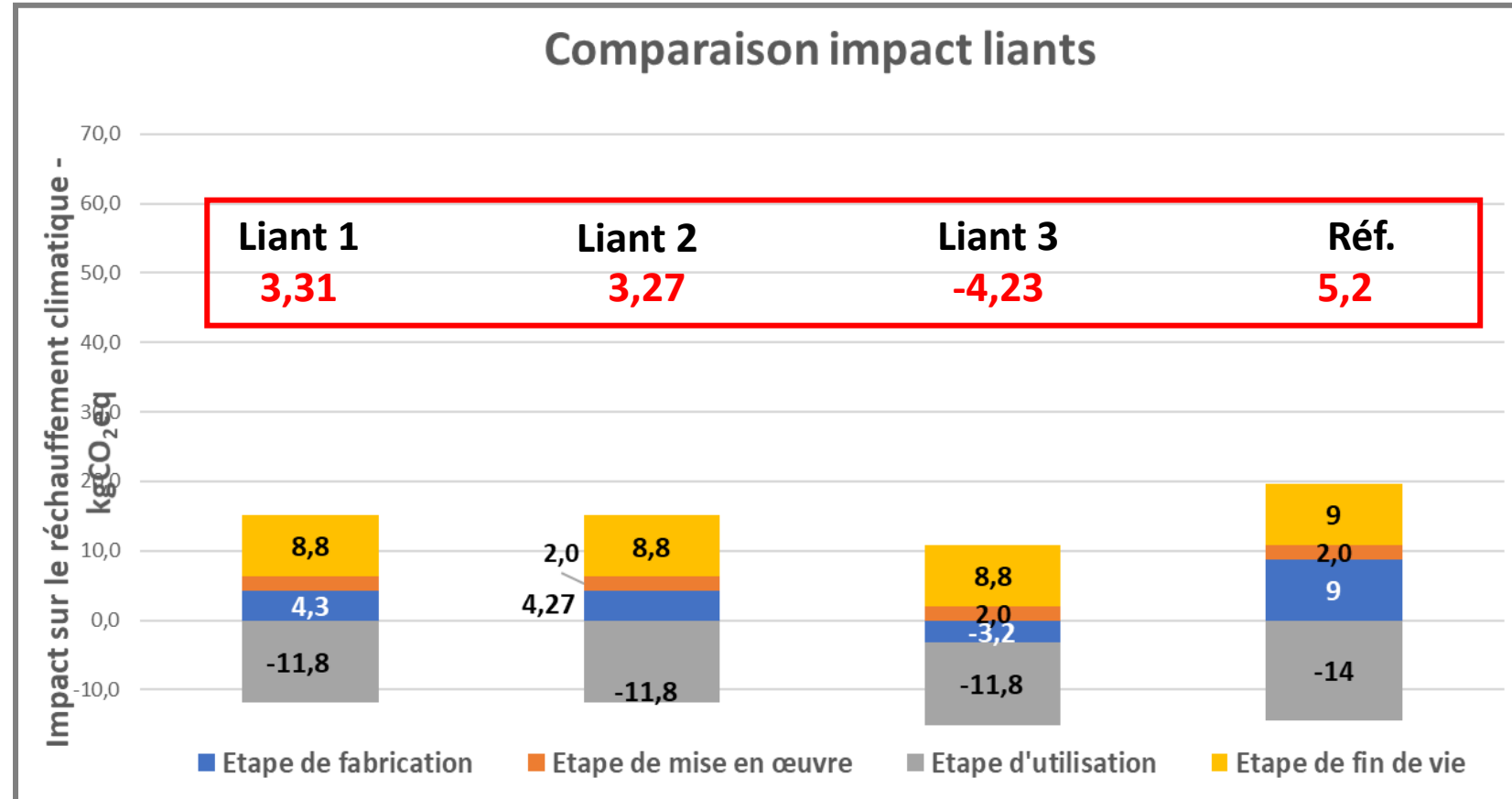


Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)

ACV - E-conception

Optimisation des performances environnementales des BINP



Blocs isolants porteurs (BIP)

Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Formulation et caractérisation des matériaux (4 boucles de formulations)

Cahier des charges

- Résistance à la compression (R_c 28 jrs)
- Masse volumique apparente (ρ 28 jrs)
- Conductivité thermique sèche (λ)
- ...

Formulation & caractérisation à l'échelle laboratoire

- 4 Boucles de formulation (liants, dosages, granulo, lieu du broyage, etc.)
- Caractérisation des matériaux
- Etude d'impact de la variabilité des granulats sur les performances des formulations

Changement d'échelle (Procédé d'industrialisation)

- Procédé de fabrication des blocs
- Caractérisation des blocs

Amélioration des formulation & caractérisation

- Formulation et caractérisation (cdc identique)
- ACV

Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Formulation et caractérisation des matériaux (4 boucles de formulations)

Inertage des granulats (Plusieurs phases)

Stabilisation des granulats de colza pour les blocs porteurs (inertage) : Inertage par enrobage des granulats de colza avec des liants minéraux

Objectif : Limiter les échanges avec les liants pour améliorer les performances mécaniques des blocs

Projet BIP Colza

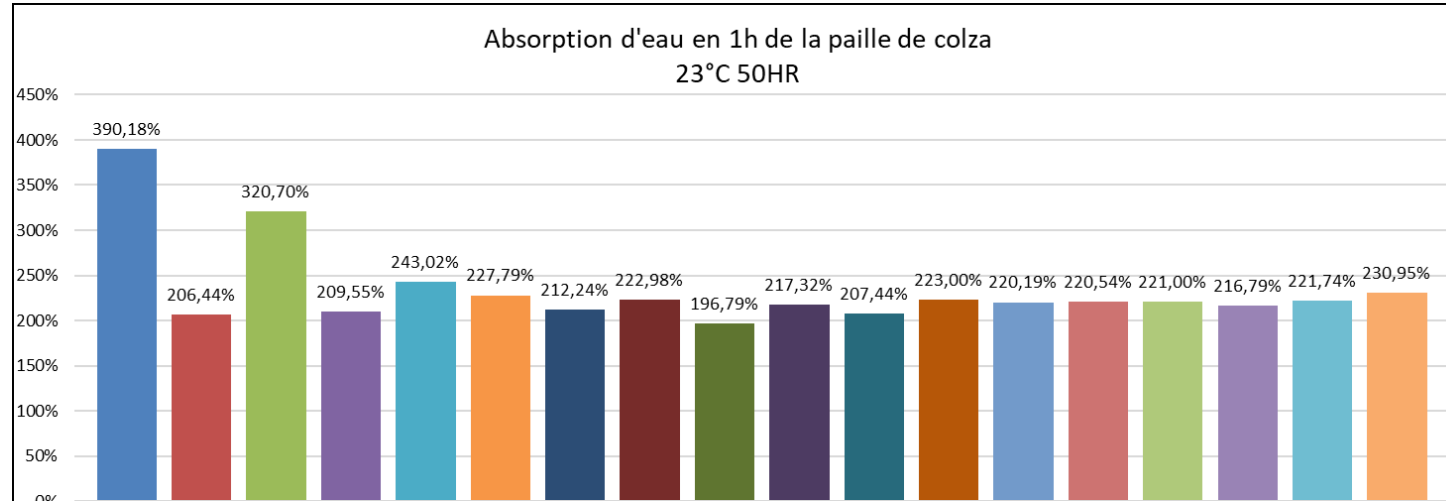
Blocs isolants porteurs (BIP)



Formulation et caractérisation des matériaux (4 boucles de formulations)

Inertage des granulats (Plusieurs phases)

Etude Préliminaire



Phase 1 : Inertage des granulats avec les meilleures formulations (à l'échelle laboratoire)



Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Formulation des blocs isolants non porteurs (échelle laboratoire)



Fabrication et conservation des éprouvettes



> 150 formulations

Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Caractérisation des blocs isolants non porteurs (échelle laboratoire)

Référence Form.	Référence des granulats utilisés	Essais de résistance à la compression à 28 jrs		Conductivité thermique (Etat sec)	
		Masse volumique apparente (Kg/m ³)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique (Kg/m ³) (après séchage)	Conductivité thermique (W/m.K)
F01	M15 - GM	1479	5,30	1296	0,363
F02	S16 - GM	1360	3,20	1263	0,307
F03	M15 - GP	1282	3,92	1127	0,258
F04	S16 - GP	1320	3,85	1083	0,258
F05	M15 - GM	1377	6,53	1304	0,449
F06	M15 - GP	1209	2,62	1100	0,208
F07	S16 - GM	1407	5,68	1339	0,429
F08	S16 - GP	1344	4,81	1218	0,316
F09	M15 - GM	1410	6,30	1299	0,419
F09A	M15 - GP	1424	6,99	1842	0,466
F10	M15 - GP	1256	3,42	1089	0,290
F11	S16 - GM	1333	6,12	1174	0,280
F12	S16 - GP	1134	2,11	1015	0,275

Exemples des résultats de caractérisation

Projet BIP Colza

Blocs Isolants Porteurs (BIP)

Formulation des bétons pour BIP

Conclusions

	Essais mécaniques		Essais thermiques	
Classe granulaire	Masse vol. kg/m ³	Rc (MPa)	Masse vol. kg/m ³	λ (W/m.K)
Climat	+	+	+	+
Granulométrie	++	++	++	++
Année de récolte	+	+	+	+
Composition chimique	++	++	+	+
Adjuvantation	+	+	+	+
Conclusions	++		+	



Légende

++	Influence très importante
+	Influence importante
=	Pas d'influence

Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)

Aspects des blocs en sortie de presse



Changement d'échelle pour BIP



Inertage des granulats



Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Stockage des blocs après production



Conservation des blocs pour les essais de compression

Changement d'échelle pour BIP



Aspect de la surface de découpe
(Matériau homogène / Pas de défauts apparents)

Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Référence	Masse volumique à l'état frais (kg/m ³)	Caractérisation mécanique à 28 jrs		Caractérisation thermique	
N° de procédé		Masse volumique du bloc (kg/m ³)	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique sèche du bloc (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.K)
P1	1479	Blocs non conformes			
P2	1452				
P3	1343				
P3a	1397				
P3b	1228	1153	1,6	-	-
P2a	1339	1268	2,27	-	-
P3c	1347	1272	2,67	-	-
P3d	1282	1258	2,2	1011	0,209
P4	1441	1415	4,47	1104	0,222
P4a	1477	1458	3,2	983	0,204
P5	1431	1244	5,57	1081	0,225
P4b	1329	1140	2,9	1028	0,21
P5	1431	1230	3,7	1015	0,198
P6	1601	1400	7,07	1304	0,326

Projet BIP Colza

Blocs isolants non porteurs (BINP)



Caractérisation de la meilleure formulation (formulation et procédé)

NF EN 771-3+A1 : Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 3 : éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)

N° de chapitre de la norme	Caractéristique	Norme de mesure
5.2	Dimensions et tolérances	NF EN 772-16
5.4	Masse volumique	NF EN 772-13
5.5	Résistance mécanique (à la compression)	NF EN 772-1
5.6	Propriétés thermiques	NF EN 12667
5.8	Absorption d'eau par capillarité	NF EN 772-11
5.9	Variations dimensionnelles	NF EN 772-14
5.10	Perméabilité à la vapeur d'eau	NF EN 12572



Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Caractérisation des blocs isolants porteurs



Fiche Technique de la meilleure formulation

Résistance à la compression ($R_{c_{28jrs}}$)	5,57 MPa
Masse volumique apparente (r_{28jrs})	1244 kg/m ³
Masse volumique sèche (r_{sec})	1081 kg/m ³
Conductivité thermique sèche (l_{sec})	0,225 W/m.K
Coefficient de sorption par capillarité	3,3 g/m ² s ^{0,5}
Variations dimensionnelles extrême	<ul style="list-style-type: none">▪ Gonflement = 0,34 mm/m▪ Retrait = 3,34 mm/m→ <u>Amplitude = 3,68 mm/m</u>
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau	<ul style="list-style-type: none">▪ Sd = 0,219 m▪ μ = 10,32

- Plus d'une centaine de formulations ont été réalisées pour élaborer des blocs isolants porteurs (inertage des granulats de colza et formulations des matériaux).
- Les résultats obtenus à l'échelle laboratoire ont permis de sélectionner les deux meilleures formulations pour le changement d'échelle.
- Les essais de changement d'échelle réalisés sur ces deux formulations ont permis de valider le procédé et la formulation optimale par rapport aux exigences du CdC.
- Une amélioration des performances environnementales de cette application a été effectuée grâce à l'emploi d'un liant bas carbone.
- Les blocs obtenus suite au changement d'échelle présentent des surfaces et des arrêtes très propres
- Une amélioration des performances thermiques est possible en utilisation un moule pour bloc creux (allègement du bloc).

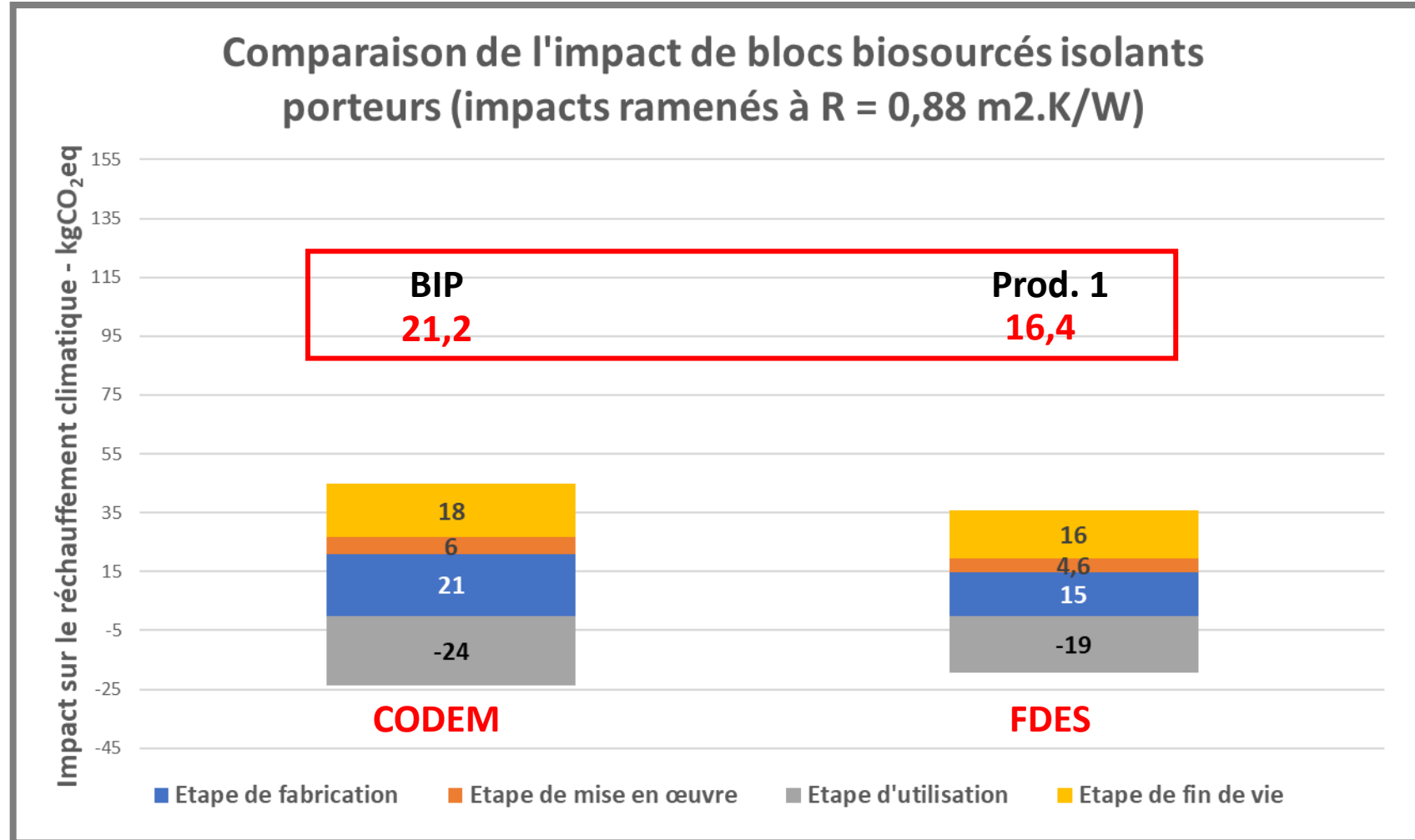
Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



Comparaison pour le BIP

ACV

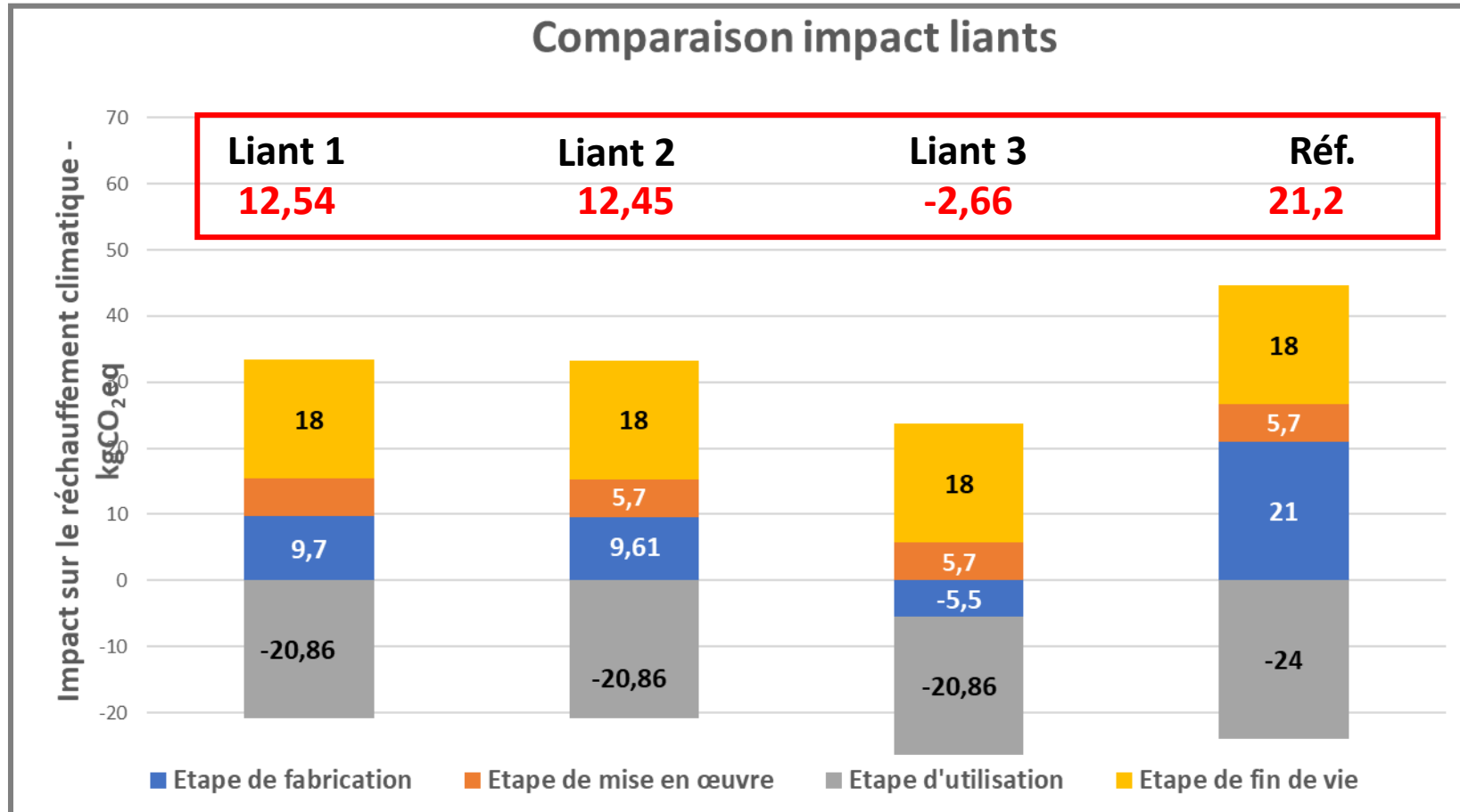


Projet BIP Colza

Blocs isolants porteurs (BIP)



ACV - E conception



Projet BIP Colza

Conclusions & perspectives



- Le projet BIP Colza fait partie des premiers projets d'envergures à l'échelle nationale sur la valorisation des granulats de colza dans la construction.
- Les résultats obtenus dans ce projet montrent que la valorisation de la paille de colza dans le secteur de la construction est pertinente. Elle permet une utilisation et valorisation d'une biomasse peu exploitée pouvant répondre à certains enjeux agricoles, architecturaux, environnementaux et économiques.
- La maîtrise de l'ensemble de la chaîne de valeur pour l'approvisionnement et le broyage des pailles de colza est nécessaire pour apporter des garanties sur la qualité de ces dernières.
- La mise en place d'une filière granulats de colza est pertinente pour bien maîtriser l'amont et l'aval de ce type de ressource.
- Les cahiers des charges relatifs aux granulats de colza et aux deux applications explorées dans ce projet sont quasiment atteints, en particulier pour les granulats de colza et les blocs isolants non porteurs.
- Les derniers travaux de formulations sur les blocs isolants porteurs avec des liants bas carbone sont très encourageants. Mise à part la conductivité thermique l'ensemble d'autres critères du CdC sont conformes aux exigences de ce dernier.
- Une poursuite des travaux est pertinente afin d'optimiser l'ensemble de la chaîne de valeur (récolte, stockage, broyage, conditionnement, fabrication des blocs, évaluations techniques des solutions, etc.)



PROJET FÈRE-EN-TARDENOIS

Essais préliminaires de projection du béton de colza



Validation du concept

- Site de FRD-CODEM
- Participants :
 - FRD-CODEM
 - Tearana Habitat : Frédéric Cousin
 - Solrs-et-Technique : Olivier Vandenwynckel
- Essais avec deux types de chaux
 - Chaux préformulée 1
 - Chaux préformulée 2
- Essais sur plusieurs épaisseurs :
30 , 35 et 40 cm



Réalisation du démonstrateur



Validation de la solution

- Participants :
 - FRD-CODEM
 - Tearana Habitat : Frédéric Cousin
 - Solrs-et-Technique : Olivier Vandenwynckel
- Chaux utilisée : Chaux préformulée 2



Réalisation du démonstrateur

Validation de la solution



Réalisation du démonstrateur

Validation de la solution

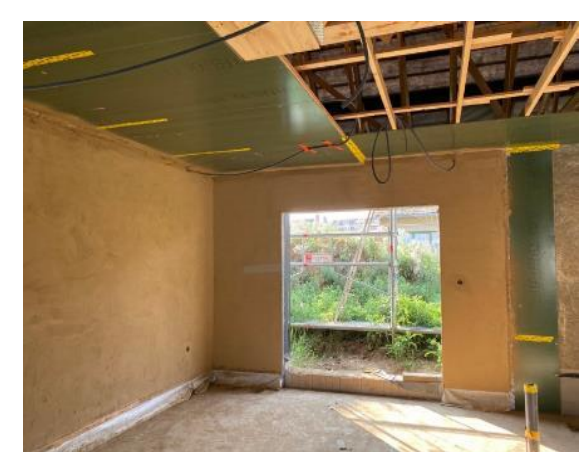


Chantier Fère-en-Tardenois (OPAL02)



Réalisation du projet : Projection de béton de colza

- Projeteur : Solr-et-Technique





PROJET BIP COLZA 2.0

**Industrialisation des Résultats du
projet BIP Colza**

BIP COLZA 2.0 : Développer les conditions d'industrialisation de blocs de béton de colza



Partenaires engagés



Le projet : Les projets précédents ont permis de d'établir la **preuve de concept** du développement de blocs de béton de colza. Il s'agit désormais de :

- Bâtir un schéma organisationnel d'**approvisionnement** en paille de colza dans le périmètre des coopératives Valfrance et Cérèsia,
- Définir la **plateforme de broyage**
- Finaliser le **transfert industriel** et
- Obtenir l'**attestation technique d'expérimentation** pour la mise sur le marché des matériaux

Calendrier : De 2025 à 2028 (36 mois)



Boubker LAIDOUDI

Responsable Essais et R&D Bâtiment

laidoudiboubker@batlab.fr

+33 (0)6 35 38 81 56

Merci de votre attention