

Projet de fin d'études
présenté par

Nathan LETOURNEUX

Elève Ingénieur de l'INSA Rennes

Spécialité GCU

Année scolaire 2020-2021

L'ÉCOSYSTEME DE L'ÉCOCONSTRUCTION

Etude de la structuration des filières des écomatériaux – Application aux stratégies de développement d'Ecobatys

Lieu du Projet de Fin d'Études

Ecobatys

Tuteur du Projet de Fin d'Études

Céline MARTIN & Marie-Pierre ROUGER É

Correspondant pédagogique INSA et ETS

Pascal DUPONT & Claudiane OUELLET-PLAMONDON

PFE soutenu le 29/03/2021

Remerciements

Que d'émotions en rédigeant ces premières lignes de rapport de PFE. Ce projet marque la fin de mes études et mon entrée sur le marché du travail. Mon expérience de 6 mois dans ce pôle d'écoconstruction qu'est Ecobatys a été sans conteste la première pierre d'un parcours professionnel qui je l'espère sera tout aussi riche. La phase esquisse a été tracée lors de ces 5 années à l'INSA Rennes et ce double-cursus à l'ETS Montréal. Les travaux peuvent désormais commencer !

En premier lieu, je souhaite chaleureusement remercier les cogérants d'Ecobatys ; Marie-Pierre Rouger, Loïc Moreau et Dominique Bernier pour m'avoir accepté dans cette belle société coopérative d'intérêt général. Leur dynamisme et leur engagement sont sans faille, permettant à Ecobatys de poursuivre sa belle aventure dans le paysage de l'écoconstruction.

Je tiens également à remercier Céline Martin, chargée de mission formation à Ecobatys, que j'ai accompagnée tout au long de mon stage et qui a toujours répondu présente quand j'en avais besoin. Merci également à Olivier Le Roux, ancien chargé de mission écomatériaux qui m'a apporté beaucoup lors de mon arrivée à Ecobatys (et pour la relecture de ce rapport), malgré un contexte sanitaire peu favorable.

Ensuite, je tiens à souligner le travail d'encadrement et d'accompagnement de Pascal Dupont, professeur référent de l'INSA et Claudiane Ouellet Plamondon, professeure référente de l'ETS. Grâce à leur suivi régulier, j'ai pu orienter mon travail dans sa version finale que je présente aujourd'hui. A travers eux, c'est l'ensemble du corps professoral de l'INSA et de l'ETS qui je remercie pour m'avoir donné les clés de mon futur métier. A moi désormais d'en ouvrir la porte.

Je ne peux pas oublier non plus de remercier les stagiaires de la première formation « Maçon·ne terre crue » dispensée à Ecobatys : Nina, Raphaëlle, Pierre, Paul, Christian, Christophe, Jean-François, Adrien, et Simon. Ils ont su me transmettre leur passion et leur savoir-faire naissant sur la maçonnerie en terre crue. Un grand merci également à leurs formateurs (Yannick, Alain, Antoine, Florent, Mary, Yoann et les autres) et leur coordinatrice Orane avec qui j'ai toujours eu des discussions passionnantes.

Un merci aussi à Chloé Houdus qui m'a vivement conseillé de faire mon stage à Ecobatys.

Merci également à Yoann Richard, Florian Levillain, Arthur Helouin de Ménibus, Gregory Bosy, Guillaume Laizé, Erwan Hamard, Vincent Corbard et toutes les autres personnes que j'ai croisées pendant mon stage et qui m'ont accordé du temps.

Et enfin un immense merci à mes parents pour m'avoir toujours soutenu dans mes études et à mes frères pour m'avoir transmis cette fibre « d'ingénieur ».

Sommaire

Remerciements.....	1
Sommaire	2
Résumé	4
Abréviation	5
Introduction.....	6
Partie 1 : Analyse et synthèse de l'écosystème de l'écoconstruction dans le Grand Ouest.....	7
1.1. Présentation générale des dynamismes de la construction en France	7
1.1.1. Chiffres clés.....	7
1.1.2. Histoire des réglementations thermiques.....	9
1.2. Présentation générale de l'écoconstruction.....	11
1.2.1. Définitions	11
1.2.2. Labels et certifications.....	13
1.2.3. Une multitude d'acteurs :.....	17
1.2.4. Documents de référence - Norme et réglementation	25
1.2.5. Base INIES : FDES et PEP	29
1.3. Les filières dans le Grand Ouest.....	33
1.3.1. Définitions et périmètre d'études	33
1.3.2. Zone géographique.....	34
1.3.3. Matériaux	35
1.4. Conclusion	51
Partie 2 : l'ACV au service de l'écoconstruction ?.....	53
2.2. Présentation de l'ACV	53
2.3. Utilisation du logiciel.....	54
2.4. Méthodologie.....	54
2.4.1. Les différents critères retenus.....	54
2.4.2. Calcul des impacts environnementaux.....	55

2.4.3.	L'importance de la durée d'étude	56
2.4.4.	Le choix primordial des FDES.....	56
2.4.5.	Choix des systèmes constructifs.....	58
2.5.	Résultats	60
2.6.	Comparaison financière	67
2.7.	Conclusion & discussion.....	69
Partie 3 :	Application aux stratégies de développement d'Ecobatys.....	70
3.1.	Petit regard dans le rétroviseur	70
3.2.	Activités d'Ecobatys	71
3.3.	Conclusion	74
Conclusion Générale :		75
BIBLIOGRAPHIE.....		76
ANNEXES.....		79

Résumé

Nul n'est sans savoir que les années que nous vivons actuellement sont cruciales quant au choix que nous prenons vis-à-vis du réchauffement climatique. Le secteur du bâtiment s'inscrit pleinement dans cette remise en question puisqu'il représente la majeure partie de nos consommations énergétiques et qu'il est responsable d'un quart de nos émissions de gaz à effet de serre.

L'écoconstruction et plus largement l'écologie apportent des réponses à cette problématique environnementale. Nous savons aujourd'hui construire sans compromettre le futur des générations à venir. Cependant, force est de constater que les systèmes constructifs respectueux de l'environnement ont du mal à se faire une place dans le panorama de la construction en France. Ce rapport traite de l'écosystème de l'écoconstruction. Il est évoqué dans un premier temps les éléments généraux du domaine (acteurs, normes, référentiels, etc.) avant de regarder plus spécifiquement la structuration des filières d'écomatériaux dans le Grand Ouest. En seconde partie il est question de la pratique d'ACV dans la construction. On verra que celle-ci montre bien le caractère moins impactant des systèmes « écoconstruits » mais que les résultats des ACV sont fortement influencés par les données d'entrée. Enfin, nous verrons comment Ecobatys s'inscrit dans ce paysage et quelles sont ses évolutions futures possibles.

Mots clés : Ecoconstruction, écomatériaux, filières, biosourcés, structuration, FDES, ACV

Abstract

The major environmental issue of our world involves a total reconsideration of our lifestyle. The building industry is no exception because it's one of the main sources of pollution (waste, greenhouse gases, etc.) and consumes a lot of (fossil) energy.

Sustainable construction and ecology respond to that environmental issue. Nowadays, we know how to build without compromise the future of our children. This report tries to explain what the global context of bioconstruction is in France is and more specifically in the West. The structuration of biobased sectors is being in process for some of them but not all. In the second part, some LCA are made to show how they can prove the eco-friendly side of those materials compared to conventional one. And finally, the role of Ecobatys in that landscape is studied and some strategies are given to ensure the development of the company.

Key words: sustainable construction, green buildings, eco-friendly materials, biobased, sector, LCA

Abréviation

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ALEC : Agence Locale de l'Énergie et du Climat

AQC : Agence Qualité Construction

ARPE : Association Régionale pour la Promotion de l'Éco-construction

BTP : Bâtiment Travaux Publics

CAPEB : Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment

CAUE : Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement

CE : Communauté Européenne

COV : Composé Organique volatil

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DED : Donnée Environnementale par Défaut

DVR : Durée de Vie de Référence

DVT : Durée de Vie Typique

ENR : Énergies Renouvelables

FDES : Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

FFB : Fédération Française du Bâtiment

GREB : Groupe de Recherches Écologiques de la Baie

Labex : Laboratoire d'Excellence

LTECV : Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte

MDEGD : Module de Donnée Environnementale Générique par Défaut

NF : Norme Française

PCAET : Plan Climat-Air-Énergie Territorial

PFE : Projet de Fin d'Études

PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal

PME : Petite et Moyenne Entreprise

UMR : Unité Mixte de Recherche

RFCP : Réseau Français de la Construction Paille

RBBD : Réseau Breton Bâtiment Durable

RE : Réglementation Environnementale

RT : Réglementation Thermique

Introduction

Lors d'une formation sur les matériaux biosourcés à laquelle j'ai pu assister, un intervenant m'a demandé pourquoi je participais à celle-ci et quelles en étaient mes attentes. Ma première réponse a été de dire que je souhaitais approfondir mes connaissances sur les écomatériaux et l'écoconstruction parce que c'est un domaine qui me tient à cœur et dans lequel je souhaite travailler plus tard (et qui fait l'objet de ce PFE). Mais lorsque j'y réfléchis plus attentivement, c'est avant tout parce qu'au cours de mes 3 années de spécialité en Génie Civil et Urbain à l'INSA Rennes, aucun enseignement sur ces matériaux ne m'a été délivré. Cette non prise en compte de l'écoconstruction s'explique par le fait que les professeurs n'y sont pas forcément formés et surtout qu'il est difficile de lutter contre les poids lourds du béton. Nos promotions sont rappelons-le parrainées par des cadors du BTP. Alors que nous voyons les résultats (réchauffement climatique, perte de la biodiversité, etc.) de nos erreurs passées où l'énergie était bon marché et les préoccupations environnementales quasi-inexistantes, nous poursuivons une fuite en avant sociale et environnementale dans le secteur du bâtiment.

Les impacts du BTP sont aujourd'hui bien connus du grand public puisqu'en 2012 déjà, l'ADEME mettait en avant la nécessité d'une maîtrise de la dépense énergétique dans le bâtiment pour réduire la facture des usagers et l'empreinte écologique des français. Avec 68,6 millions de tonnes d'équivalent pétrole en 2011, le BTP représentait 44 % de l'énergie finale totale utilisée en France. Alors que nous discutons presque que d'énergie en 2012, nous parlons aujourd'hui également de la maîtrise de l'impact environnemental du BTP puisqu'il est responsable en France de 50% de la consommation des ressources naturelles, de 40% de la production de déchets et de 25% des émissions de CO₂.

L'habitat, considéré comme la troisième et dernière peau de l'Homme après sa propre peau et ses habits, est donc au cœur des préoccupations environnementales du XXIème siècle. C'est pourquoi ce rapport traitera de l'écosystème de l'habitat écologique, avec dans un premier temps, l'étude de la structuration des filières en écomatériaux dans le Grand Ouest de la France. Cette étude fait suite à celle de Chloé Houdus, ancienne stagiaire à Ecobatys et ingénieure de l'INSA Rennes, sur les caractéristiques techniques des isolants biosourcés dans le Grand Ouest et le développement de leur utilisation. Dans un second temps, une comparaison basée sur l'analyse de cycle de vie de différents systèmes constructifs sera réalisée afin de voir si les matériaux dits « écologiques » sont mis en avant dans ces études d'impacts environnementaux. Enfin, nous verrons quel rôle Ecobatys, société coopérative d'intérêt collectif, joue dans ce paysage de l'écoconstruction et quelles peuvent être ses stratégies de développement pour consolider la structure.

Partie 1 : Analyse et synthèse de l'écosystème de l'écoconstruction dans le Grand Ouest

1.1. Présentation générale des dynamismes de la construction en France

1.1.1. Chiffres clés

Le bâtiment est un secteur clé de l'économie en France. L'adage « Quand le bâtiment va, tout va » montre ce rôle de marqueur économique. Dans le contexte sanitaire actuel, il est cité comme secteur pourvoyeur d'emplois dans le futur avec le numérique et la santé (Abou El Khair, 2020). La FFB fournit quelques chiffres sur ce secteur. Le BTP c'est 1 121 000 salariés, travaillant majoritairement dans les PME. Le gros œuvre emploie 1/3 de ces personnes et le second œuvre les deux autres tiers.

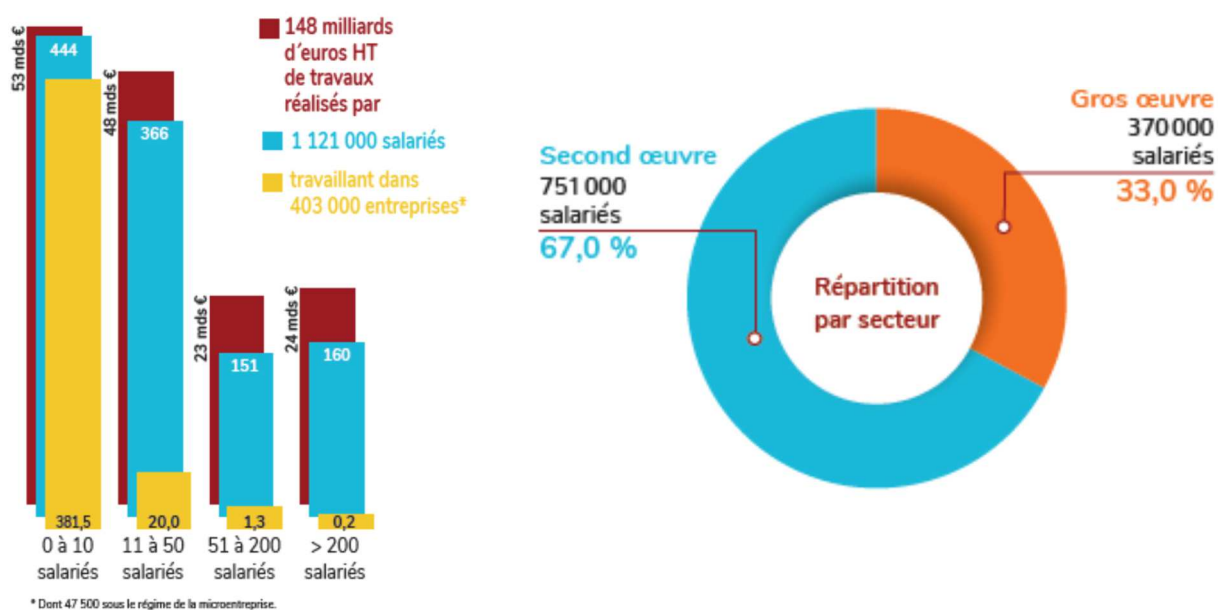


Figure 1 : Répartition des employés et du chiffre d'affaires du BTP

L'entretien et l'amélioration (réhabilitation) des bâtiments occupent un peu plus de la moitié des parts de marché des travaux en France, l'autre moitié concerne le neuf. Alors que le montant des travaux effectués en 2020 s'élève à 148 milliards d'euros, les logements représentent plus de chiffres d'affaires que les bâtiments non résidentiels, 88 milliards contre 60 milliards.

Fin février 2020, il a été estimé par la FFB que 175 400 logements individuels étaient en construction contre 235 700 logements collectifs. Les logements collectifs ayant une surface moyenne plus petite, ils ne représentent qu'un tiers de la surface de plancher du résidentiel neuf. Les deux autres tiers (soit presque 20 millions de m²) concernent le logement individuel.

En ce qui concerne le non résidentiel, ce sont les bâtiments industriels et de stockage qui représentent le plus de surface de plancher mise en chantier, devant les bâtiments agricoles et les bâtiments administratifs. Viennent ensuite les bureaux puis les commerces.

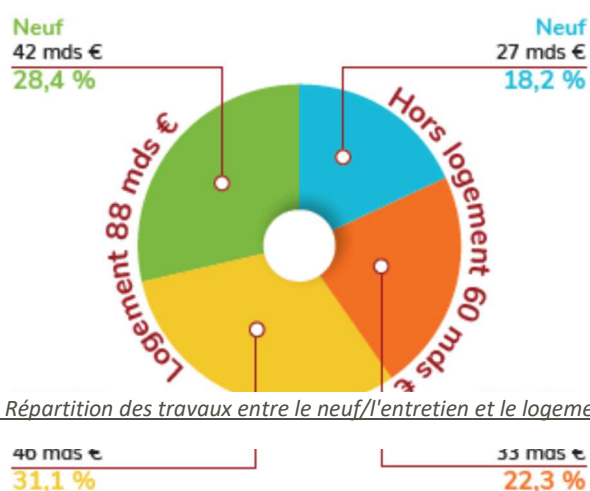


Figure 2 : Répartition des travaux entre le neuf/l'entretien et le logement ou le tertiaire

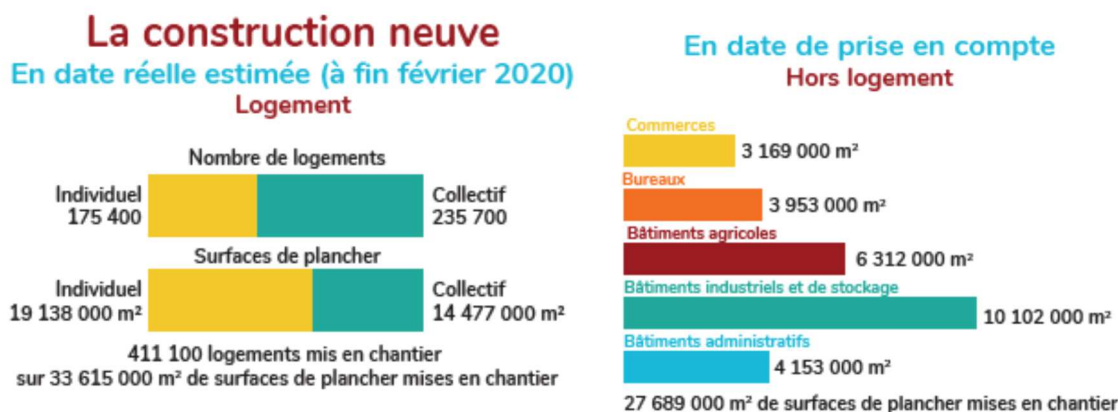


Figure 3 : Répartition des chantiers de construction neuve entre les logements et le tertiaire en 2020

1.1.2. Histoire des réglementations thermiques

Si l'on regarde l'histoire de la construction, le graphique numéro 1 présenté ci-dessous montre les différentes évolutions de notre conception du bâti lors du dernier siècle. Si les méthodes constructives et donc les consommations énergétiques du bâtiment sont sensiblement restées identiques avant la seconde guerre mondiale, c'est une révolution qui s'opère après-guerre. L'arrivée massive du béton de ciment sur le marché et la nécessité de reconstruire des bâtiments vont bouleverser la construction. L'emploi de nouveaux matériaux industriels va modifier les méthodes constructives, et les savoir-faire propres au bâti ancien vont disparaître. Couplées à un faible coût des énergies et une hausse du confort, les consommations énergétiques des bâtiments construits pendant les Trente Glorieuses sont 2 fois plus importantes que celles d'avant-guerre. À la suite du choc pétrolier de 1973 et de l'explosion du coût de l'énergie qui s'en suit, le gouvernement français va prendre des dispositions pour réduire les consommations énergétiques des ménages français : c'est la première réglementation thermique de 1974. S'appliquant uniquement aux bâtiments neufs d'habitation, elle a pour objectif de baisser de 25% la consommation énergétique des bâtiments. Pour ce faire, la RT 1974 imposait uniquement la mise en place d'une fine couche d'isolation et la prise en compte du renouvellement de l'air intérieur afin de limiter les déperditions de chaleur. Les réglementations thermiques qui suivirent ; RT 1982, RT1988, RT2000, RT 2005, RT 2012 n'ont cessé d'améliorer les performances thermiques des bâtiments neufs.

Depuis le 1^{er} janvier 2013 et pour peu de temps encore, c'est la RT2012 qui s'applique. Elle comprend 3 exigences de résultats : les besoins bioclimatiques du bâti (Bbiomax), la consommation d'énergie primaire (Cepmax) et le confort en été (Ticréf) et des exigences de moyens (étanchéité, surface vitrée, affichage des consommations d'énergie, etc.). Les maisons individuelles respectant la RT2012 consomment théoriquement moins de 40kWh/m².an (valeur pondérée en fonction de la zone climatique de construction).

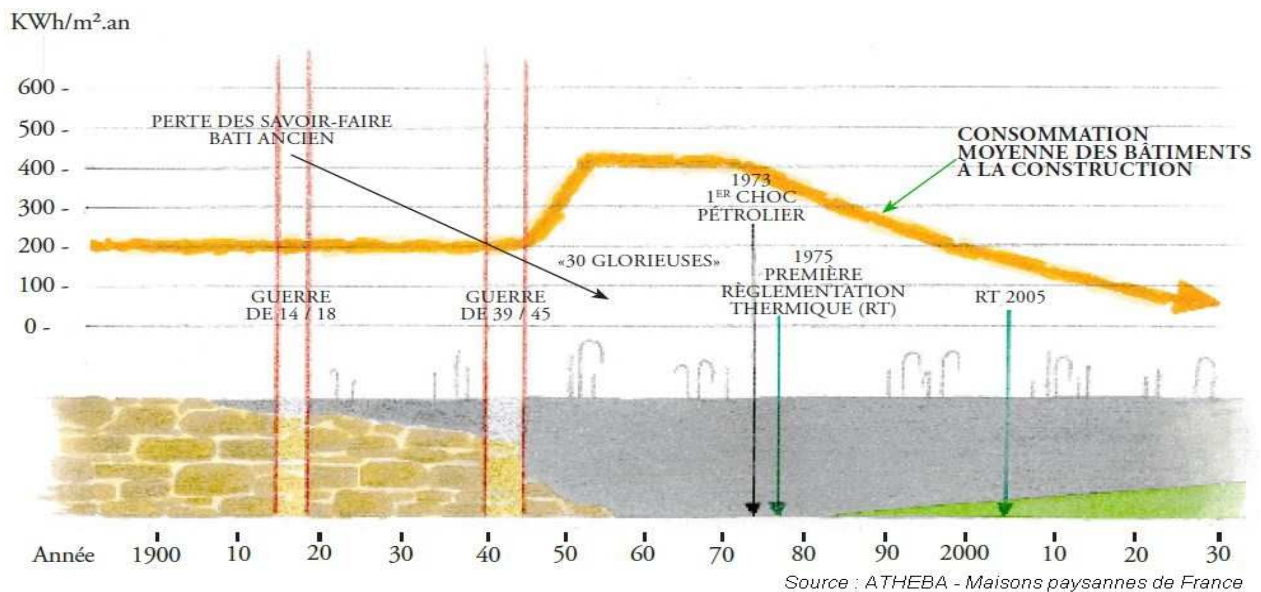


Figure 4 : Evolution de la consommation moyenne des bâtiments en France depuis 1900

Nous utilisons donc globalement moins d'énergie primaire dans les logements neufs mais il a été estimé qu'en moyenne pour 1m² de bâtiment neuf construit, c'est 1,5 tonne de CO₂ qui est émis. Ce qui est énorme quand on sait qu'un français moyen émet par an environ 12 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. Construire des maisons performantes énergétiquement oui, mais il ne faut pas que l'impact de ces travaux soit néfaste pour l'environnement.

Cela représente donc un sérieux problème auquel il est nécessaire de s'attaquer et auquel l'écoconstruction répond. A ce constat se couple le problème de l'effet rebond. Par exemple, malgré l'effort considérable de l'Allemagne pour rénover énergétiquement son parc immobilier (plus de 340 milliards d'euros depuis 2010), elle n'a pas réussi à faire diminuer la consommation de ses logements. Alors qu'un foyer consommait en 2012 en moyenne 131kWh/m².an, il consommait 130kWh/m².an en 2018 (Boutelet, 2020). Ceci s'explique principalement par une augmentation du confort des habitants (passant d'une température de 20° à 22°).

1.2. Présentation générale de l'écoconstruction

1.2.1. Définitions

L'écoconstruction, l'écoréhabilitation ou l'écohabitat, ou tout autre terme ayant le qualificatif de vert ou écologique renvoient à la notion de bâtiment durable qui peut être défini comme un bâtiment dont la conception, la réalisation, l'utilisation et la fin de vie visent à satisfaire aux principes de respect à long terme des enjeux environnementaux, sociaux et économiques. Ces principes renvoient à l'équilibre nécessaire qui doit être trouvé entre les 3 branches du triangle d'or de la maison écologique. Celles-ci concernent :

- la performance énergétique en cours de construction et pendant la durée d'utilisation du bâtiment (approche bioclimatique, démarche négawatt, utilisation de matériaux performants et adéquates, ...) ;
- la performance environnementale avec l'utilisation de matériaux à faible impact environnemental, le recours aux énergies renouvelables, aux circuits courts, l'organisation de chantier propre, l'utilisation raisonnée de l'eau, le traitement des déchets... ;
- la performance sanitaire avec le respect de la santé des Hommes (artisans et utilisateurs) et du bien-être des futurs usagers (qualité de l'air intérieur, confort visuel, confort thermique, confort acoustique, confort olfactif ...)

En poussant plus loin cette réflexion, Samuel Courgey et Jean-Pierre Olliva considèrent dans l'introduction de leur livre sur le bioclimatisme que « l'approche écologique se fonde sur une conception globale de l'habitat comme un organisme vivant situant dans son environnement, et réagissant avec lui » (Courgey & Oliva, 2006). Ainsi, les notions comme celle du bioclimatisme, de low-tech, de frugalité, du réemploi ou encore de l'intensité sociale prennent toute leur place dans cette définition.

Les matériaux biosourcés et géosourcés contribuent directement à cette logique puisqu'à performance technique égale, ils ont une empreinte carbone moins importante. Ils permettent également le développement économique des territoires. Plusieurs outils législatifs les mettent en avant depuis une dizaine d'années.

L'arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé » comprend comme « biosourcé » les matériaux dont une partie de la matière première est issue du monde vivant, de la biomasse végétale et animale, en incluant les matières recyclées. Ils peuvent être utilisés comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe et comme matériau de construction dans un bâtiment.

A la suite de la parution au Journal Officiel du 22 décembre 2016, le terme de « biosourcé » a été défini comme « un produit ou un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine biologique ». Cette définition comporte une limite importante puisqu'aucun pourcentage minimum de matière biosourcée n'est donné dans le matériau considéré.

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) reconnaît dans son article 14 que « l'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles » et « qu'elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments ». L'article 144 indique à la commande publique qu'elle doit prendre en compte la performance environnementale des produits, en particulier leur caractère biosourcé.

En 2018, la loi Elan portant sur l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique introduit dans ses articles 180 et 181 plusieurs mesures en faveur du bois et des matériaux biosourcés dans la construction :

- Introduction de la préfabrication (dispositif constructif largement utilisé en bois construction) dans le code de la construction et de l'habitation ;
- Annonce de mesures en faveur de la construction de maisons individuelles préfabriquées ;
- Confirme la prise en compte de la capacité de stockage du carbone des matériaux biosourcés pour une meilleure performance environnementale.

En dernier lieu, nous pouvons indiquer que la filière des matériaux biosourcés a été identifiée en 2013 comme l'une des 19 filières industrielles vertes d'avenir porteuses de croissance et d'emplois par le Commissariat général au Développement durable.

Contrairement aux matériaux biosourcés qui ont une définition législative comme on l'a vu, les écomatériaux n'en ont pas. Cependant, un écomatériau (dans la construction) peut être défini de la façon suivante (Thieblession, 2018) : « [un écomatériau est un matériau de construction qui] doit répondre aux critères techniques habituellement exigés des matériaux de construction mais également à des critères environnementaux ou socio-environnementaux, tout au long de son cycle de vie (c'est-à-dire de sa production à son élimination). »

L'introduction de la terminologie « *eco-materials* », comme matériaux « *designed by environmental life cycle engineering and superior to conventional materials in term of LCA (Life Cycle Assessment)* » a été proposée pour la première fois au Japon au début des années 1990. (Halada & Yamamoto, 2001)

L'étude des filières ne peut se faire sans une analyse préalable du contexte général structurant l'ensemble de l'écoconstruction. Les normes régissant la construction, les certifications et labels, les bases de données, les organismes spécifiques, les acteurs publics et privés, sont des éléments à prendre compte.

1.2.2. Labels et certifications

Il existe en France et dans le monde de nombreux labels et certifications permettant d'identifier des produits ou des bâtiments en fonction de critères spécifiques. Ces labels ou certifications ont été créés par l'État ou par des organismes privés (souvent associatifs) pour certifier une qualité ou des exigences supérieures aux normes réglementaires. De ce fait, ils contribuent à favoriser l'évolution de la réglementation. Ce sont des normes dites volontaires. Elles traduisent donc un engagement plus fort de la part de ceux qui les adoptent car elles ne sont pas à caractère obligatoire. On peut distinguer les labels qui ne reconnaissent qu'une qualité spécifique dans un domaine précis des certifications qui sont multicritères (par exemple, thermique, ventilation, acoustique, matériaux, biodiversité, management, etc.). Attention cependant à certains labels qui ne sont en réalité qu'une marque ou qu'un cahier des charges non vérifié par un tiers. Seul un organisme certificateur indépendant, impartial et accrédité par le COFRAC (Comité FRANçais d'Accréditation) comme Cerqual Qualitel Certification, Certivéa, Promotelec Services ou Prestaterre, peut délivrer une certification. Certivéa est une filiale du CSTB.

Ainsi, pour le bâtiment, les labels se délivrent sur le critère de la performance énergétique, de confort ou de matériaux. Quant aux certifications, elles prennent en compte un ensemble d'éléments qui va du chantier de construction, en passant par la gestion des déchets, jusqu'à la gestion des ressources une fois le bâtiment mis en service et à la qualité de vie en son sein (lumière naturelle, isolation acoustique, accessibilité, maintenance...).



- **Label Bâtiment Biosourcé** : Institué par l'arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé », il définit notamment des taux d'incorporation de matière biosourcée dans les bâtiments neufs.

Par exemple, pour une maison individuelle, un minimum de 42kg de matière biosourcée par mètre carré de surface de plancher est requis pour le niveau 1. Le niveau 3, le plus exigeant en demande 2 fois plus, et oblige l'utilisation de 2 familles de matériau différent (chanvre plus bois par exemple). Le label Bâtiment Biosourcé exige que le bâtiment soit aussi certifié sur sa qualité globale (sur sa performance énergétique). Ce label instauré par l'Etat et s'appliquant qu'aux constructions neuves ne connaît malheureusement pas un grand succès. Il devrait être révisé prochainement.



• **Label Bâtiment Bas Carbone (BBCA)** : applicable aux bâtiments neufs et rénovés, il atteste de l'exemplarité d'un bâtiment en termes d'empreinte carbone. Ce label BBCA peut être délivré seul ou accompagné d'une autre certification. Il s'appuie sur le référentiel E+C- pour calculer le niveau atteint et valorise toutes les démarches bas carbone :

- lors de la construction (mixité intelligente des matériaux, sobriété de la conception...)
- lors de l'exploitation (énergie faiblement carbonées, ENR...)
- pour le stockage de carbone (présence de matériaux bio-sourcés)
- en accord avec l'économie circulaire (déconstruction sélective, réemploi de produits, la mutualisation des espaces, le potentiel de changement d'usage, le potentiel d'extension)



• **Label allemand Passivhaus** : ce label est décerné aux bâtiments à très faible consommation énergétique, dit bâtiment passif. La consommation de chauffage doit être inférieure à 15kWh/m²/an, et ce grâce à une bonne isolation et la prise en compte des apports solaires. L'étanchéité de l'enveloppe de l'habitat doit être très performante. Cela signifie que l'habitat doit être assez étanche afin de conserver la chaleur dans l'enceinte de la maison. Et enfin, les besoins en énergie primaire doivent être inférieurs à 120kWh/m².an.



• **Labels français Effinergie** : L'association EFFINERGIE créée en 2006 continue d'impulser de fort niveau d'efficacité énergétique des bâtiments en construction neuve et en rénovation. A travers des organismes certificateurs indépendants, elle délivre différents labels dépendant de performance énergétique du bâtiment : BEPOS Effinergie 2017, BEPOS + Effinergie 2017, BEPOS Effinergie 2013, Effinergie +, et Effinergie rénovation. Certains labels concordent désormais avec le référentiel E+C- (détaillé par la suite). Contrairement à ses voisins suisse (Minergie) et allemand (Passivhaus), Effinergie module ses critères performanciers afin de tenir compte de la diversité climatique française



• **Certification française NF habitat HQE** : c'est la certification la plus répandue dans l'Hexagone. En vigueur depuis 2004, cette norme de « Haute Qualité Environnementale » mesure la durabilité d'un bâtiment neuf en fonction de plusieurs critères : la qualité de vie, le respect de l'environnement, la performance économique et le management responsable. C'est par ce prisme que la norme HQE classe en quatre niveaux (bon, très bon, excellent, exceptionnel) les qualités de vie et d'intégration proposées par le bâtiment à ses occupants. Cette certification bénéficie du cadre de référence NF de l'AFNOR. Il

existe aussi la certification NF HQE Bâtiments Tertiaires – Neuf ou Rénovation destinée aux bureaux, aux écoles, aux commerces, aux espaces culturels, etc.

MINERGIE[®] • **Certification suisse Minergie** : Version suisse de la norme HQE, elle se veut toutefois encore plus exigeante dans ses critères (et plus chère) tout en pâtissant d'un manque criant de visibilité dans l'Hexagone.

BREEAM[®] • **Certification britannique BREEAM** : C'est la méthode d'évaluation environnementale des bâtiments la plus répandue (plus de 115 000 certifications délivrées dans le monde) et la plus ancienne. C'est également la moins exigeante. En imposant très peu de seuils minimums, la certification BREEAM pour « Building Research Establishment Environmental Assessment Method » est délivrée à des bâtiments ne proposant que peu de garanties environnementales. L'évaluation du bâtiment est notée sur 112 crédits sur les thèmes suivants : gestion des opérations, santé et bien-être, énergie, transport, eau, matériaux, déchets, terrains utilisés et écologie, pollution et innovation.



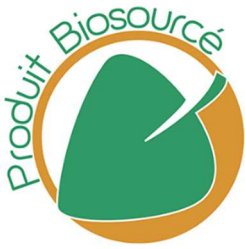
• **Certification américaine LEED** : Encore peu développée en Europe, car encore très connotée américaine par les conversions de mesures qu'elle impose et ses textes disponibles uniquement en anglais, cette certification (« Leadership in Energy and Environmental Design ») tend à se positionner comme la marque d'excellence pour un bâtiment durable. Il existe 3 niveaux de certifications : argent, or ou platine.



• **Label E+C-** : Ce référentiel français préfigurant de la prochaine RE2020 prend en compte la performance énergétique et l'empreinte carbone des bâtiments neufs non résidentiels. A travers ces 2 prismes, notés de 1 à 4 pour l'énergie et de 1 à 2 pour le carbone, le label d'application volontaire combine les exigences du label BBCA et Effinergie 2017. Les bâtiments notés 4 pour l'énergie sont forcément à énergie positive, c'est-à-dire qu'ils produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Il est possible de voir l'ensemble des bâtiments labellisés sur le territoire national grâce à la cartographie se trouvant sur le site de l'expérimentation.

Parmi les différentes certifications environnementales, les critères diffèrent. Si elles partagent un tronc commun, leurs différences induisent des spécificités propres à chacune : HQE, signe de forte valeur ajoutée, est la seule qui impose la mise en place d'un système de management environnemental (ISO 14001) et bénéficie d'une grande reconnaissance sur le plan européen. BREEAM insiste sur les thématiques de biodiversité et d'écomobilité. LEED autorise la pratique du *commissioning*, qui consiste à

mandater une tierce partie pour la réalisation des tests en performances réelles, une fois le bâtiment terminé.



- **Label Produit Biosourcé** : Ce label créé par la société coopérative Karibati atteste de l'intégration d'un pourcentage massique minimum de matière première issue de la biomasse. La création de ce label vient de la souplesse accordée par la norme européenne NF-EN 16575 définissant un produit biosourcé comme étant « entièrement ou partiellement issu de bioressources ».

Ainsi, un produit qui n'intégrerait que 1% de matière biosourcée est considéré, selon cette définition, comme étant biosourcé. C'est pourquoi ce label garantit au moins 70% de matière biosourcée dans les isolants ou 25% dans les bétons végétaux. Il donne de la visibilité et de la transparence sur la composition des matériaux. Le Comité du Label comprend des acteurs comme l'AICB, AdivBois, Bouygues Immobilier, Eiffage, Vinci, ou l'ICADE (un promoteur immobilier).



- **Natureplus** : label valorisant les matériaux de construction offrant les meilleures performances d'un point de vue santé et environnement. Les produits labellisés Naturplus sont des produits hauts de gamme du fait de leur composition et des énergies utilisées pour leur production. Ce label allemand a été créé en 2001. Reconnu

dans le monde de l'écoconstruction, il est soutenu par de nombreuses associations environnementales telles que WWF et Greenpeace.

Afin de ne pas alourdir ce chapitre, d'autres exemples de labels se trouvent en annexe 5.

A travers ces différents exemples, nous voyons bien qu'il existe un très grand nombre de labels, certifications et référentiels et il n'est pas facile de s'y retrouver. Dans une étude sur l'état des lieux de la Recherche dans le Bâtiment, (Latortue, Yannou, Leroy, & Cluzel, 2018), il est clairement indiqué que « le nombre élevé de labels/certifications/démarches ne permet donc pas aux habitants d'accéder à une information claire leur permettant d'évaluer et de comparer simplement les qualités environnementales d'un bâtiment [ou d'un produit] »

En effet, certains d'entre eux sont institutionnels et d'autres créés par des entreprises ou des associations. Il est important de connaître quels sont leurs exigences et leur cahier des charges puisqu'ils peuvent s'avérer contre-indicatif si on ne regarde pas ce qui se cache derrière.

1.2.3. Une multitude d'acteurs :

Au cours de mon étude, je me suis également rendu compte que les acteurs de l'écoconstruction étaient très variés et il me semble indispensable de les présenter afin de mieux comprendre cet écosystème.

Centre de ressources et clusters régionaux du Réseau Bâtiment Durable



De formes juridiques différentes, les centres de ressources ou clusters régionaux ont pour objectif d'accélérer les transitions et de valoriser l'innovation, en fédérant l'ensemble des acteurs du bâtiment d'une région sur les thématiques de la construction et de la rénovation durables. Leurs missions sont de diffuser l'information du secteur, de favoriser le partage d'expériences et de connaissances

ainsi que de créer une dynamique de réseau pour ses membres. Le Réseau Bâtiment Durable est conjointement animé par l'ADEME et le Plan Bâtiment Durable.

Le **Réseau Breton Bâtiment Durable** est un centre de ressources techniques qui s'adresse à l'ensemble des professionnels de la filière construction en Bretagne. C'est un lieu d'échange et de partage qui permet de progresser ensemble vers un bâtiment plus performant. Il a vocation à favoriser les interactions, à capitaliser les expériences et à



alimenter les réflexions communes. Ses actions de terrain et ses missions techniques sont réalisées en lien et en complément avec les projets portés par les acteurs régionaux de la construction. A la base créé en 2012 au sein de la Cellule Economique de Bretagne, il s'est formé en association en 2019. 3 personnes constituent l'équipe salariée du RBBD. Le RBBD va en 2021 changer de nom pour devenir Batylab.

Il existe également le cluster EcoOrigin en Bretagne mais qui traite de la transition écoénergétique dans son ensemble.

Novabuild est quant à lui le cluster de l'écoconstruction dans les Pays de la Loire. Il est plus actif qu'en Bretagne. Alors que le site internet du RBBD voyait 12 000 visiteurs en 2020, c'est plus de 50 000 personnes qui sont allées sur le site de Novabuild. 6 personnes y sont salariées. Ce cluster joue notamment la carte de « l'esprit start-up » en adoptant un langage commercial



aux fortes expressions anglaises. Son antenne nantaise concentre la majeure partie de ses activités. Ces actions se décomposent en 3 axes :

- Faciliter la mutation écologique de la construction en Pays de la Loire
- Faciliter le déploiement de la R&D et de l'innovation dans la construction en Pays de la Loire
- Numériser le BTP en Pays de la Loire

En Normandie, c'est **BEN-BTP** pour Bâtiment et Environnement Normand qui est le relai du Réseau Bâtiment Durable. L'organisation est assez récente et moins active que les 2 précédentes puisqu'elle a été créée en 2018 à la suite de la fusion de l'ARCENE (Association Régionale pour la Construction



Environnementale en NormandiE) et de l'AREPBTP (Association Régionale de l'Environnement du BTP). Elle emploie 2 salariés. BEN-BTP est avant tout un centre de ressources techniques relatif à l'économie circulaire appliquée au bâtiment et à la performance environnementale et énergétique des bâtiments. L'association comporte 2 champs d'actions :

- La prévention et la gestion des déchets
- La rénovation énergétique.

Espaces info>énergie

Les espaces INFO>ENERGIE sont des établissements de service public créés par l'ADEME en 2002, cofinancés par certaines régions et les collectivités locales. Les espaces INFO>ENERGIE sont



l'un des piliers locaux du service public de la rénovation mis en place par l'État : le Réseau FAIRE, pour Faciliter, Accompagner et Informer pour la Rénovation Énergétique. Depuis 2013, les Espaces Info Énergie sont intégrés au réseau des « Points Rénovation Info Service », regroupant sous une seule entité les services d'informations techniques, juridiques, et fiscales. Les conseillers INFO>ENERGIE sont des experts de la rénovation énergétique. Ils répondent à toutes les questions techniques et financières et accompagnent les particuliers pour optimiser leur projet :

- Assistance dans la définition des travaux prioritaires, dans le choix des matériaux, des techniques.
- Aide à la lecture et à la compréhension des devis des professionnels.
- Information et accompagnement pour la mobilisation d'aides financières.

En Pays de la Loire, ce sont 6 structures associatives – Alisée, Elise, FDCIVAM 44, Sarthe Nature Environnement, Synergies et Soliha – qui se sont mobilisées pour veiller au bon fonctionnement des

Espaces Info Energie de la région. En Normandie, 5 structures sont présentes sur l'ensemble de la région comme Espaces info>énergie (Les 7 Vents du Cotentin, le groupe interrégional HDGI, le Centre d'Initiation aux Energies Renouvelables, Biomasse Normandie et GRAPE Basse-Normandie). En Bretagne, ce sont plus de 17 espaces info>énergie qui maillent le territoire, Rénobatys étant celle du Pays de Fougères.

Ces différents organismes portant les missions du Réseau FAIRE ont des intitulés différents puisque ce sont à la base des structures indépendantes, ce qui rend difficile leur distinction auprès du grand public.

CAUE

Les CAUE (conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement) sont des organismes investis d'une mission d'intérêt public, né de la loi sur l'architecture du 3 janvier 1977. Ils ont pour objectif de promouvoir la qualité de l'architecture, de l'urbanisme et de l'environnement dans le territoire départemental. Les CAUE sont créés à initiative des responsables locaux et présidés par un élu local. C'est un organe de concertation entre les acteurs impliqués dans la production et la gestion de l'espace rural et urbain. Les CAUE conseillent gratuitement et sur rendez-vous les particuliers, les professionnels et les associations en amont de tout projet de construction, de réhabilitation ou d'amélioration d'un bâtiment, afin notamment de bien l'intégrer dans son environnement. Il est très intéressant de les consulter car ils connaissent bien les spécificités territoriales. En annexe 2 se trouve la carte des différents CAUE. On remarque que l'Ille-et-Vilaine fait partie des quelques départements non dotés d'un conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement. Toutefois, le Conseil Départemental du 35 a mis en place un service interne de Conseil en Architecture et en Urbanisme.

ALEC

Les Agences Locales de l'Energie et du Climat mènent des activités s'inscrivant dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte d'août 2015 (Code de l'énergie, article L. 211-5-1). Elles ont été créées à l'initiative de l'ADEME et des différentes collectivités territoriales. Ce sont des organismes d'animation territoriale, porteurs de connaissances dans le domaine de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Certaines agences comme celle de Rennes porte l'animation du réseau régional des Conseillers Info-Energies ou l'expérimentation d'une démarche de collecte régionale des Certificats d'Economie d'Energie. Chaque ALEC est présidée par un élu local mandaté par sa collectivité. Ces organismes d'ingénierie territoriale accompagnent les EPCI dans l'élaboration et la mise en place de leur politique énergie-climat (PCAET)

Les ALEC bretonnes, non présentes sur l'ensemble de la région (cf. Annexe 4) sont regroupées au sein de Breizh ALEC. En revanche, il n'existe pas d'ALEC en Normandie et en Pays de la Loire

Association de promotion de l'écoconstruction

Un travail colossal est fait par un grand nombre d'association afin de promouvoir l'écoconstruction. Si celles-ci peuvent avoir une représentation locale seulement, ou s'exprimer à l'échelle régionale. Il me semble important de citer l'ARPE Normandie présentée comme un réseau d'acteur·rice·s (citoyen·ne·s, associatifs, professionnels) qui agissent pour des constructions saines, écologiques, économes en énergie et à faible impact sur l'environnement à l'échelle de la Normandie. Le réseau BRUDED regroupe plus de 200 collectivités de Bretagne et Loire-Atlantique qui s'engagent dans des réalisations concrètes de développement durable et solidaire. Il met en avant des projets exemplaires liés à l'écoconstruction aussi bien que ceux sur l'agriculture, la culture ou la biodiversité et porte une réflexion plus globale sur la place des collectivités dans la transition écoénergétique. Sur la question du bâti ancien, l'association Tiez Breizh met en valeur et sauvegarde le patrimoine rural de la Bretagne historique. En informant et en conseillant les particuliers et les professionnels, elle transmet les savoir-faire techniques liés à l'architecture traditionnelle.

L'un des moyens proposés par certaines de ces différentes structures pour mettre en avant les acteurs de l'écoconstruction est de cartographier ceux-ci. Ainsi, il existe un grand nombre de cartes plus ou moins à jour qui référencent les structures agissant dans ce domaine. Nous pouvons citer l'annuaire cartographique du RBBB, celui de l'ARPE classant les fournisseurs d'éco-matériaux, celui de l'association C.H.A.N.T.I.E.R., ou encore celui d'Approche Ecohabitat, pôle d'écoconstruction de Concarneau.



Figure 5 : Cartographie des fournisseurs d'éco-matériaux disponible sur le site de l'ARPE Normandie

L'ensemble de ces structures œuvre grâce à leurs bénévoles et à leurs salariés à la promotion de l'écoconstruction et à la diffusion des bonnes pratiques autour du bâtiment durable.

Mary Jamin, experte de la construction terre et formatrice dans toute la France notait le dynamisme associatif de la Bretagne dans le domaine de l'écoconstruction et plus largement dans l'environnement lors de sa venue à Ecobatys en février dernier.

Syndicats transversaux à différentes filières

L'étude de chacune des filières nous montrera qu'il existe pour les plus structurées un syndicat ou une interprofession pour un matériau en particulier. En revanche, des associations ou collectifs se sont constituées pour développer l'utilisation des produits de constructions biosourcés dans son ensemble et pour avoir une représentation à l'échelle nationale. C'est le cas de l'Association des Industriels de la Construction Biosourcée (AICB) ou du Collectif des Filières Biosourcées du Bâtiment (CF2B). Alors que l'AICB regroupe des entreprises utilisant des procédés industriels pour transformer les matières premières d'origine végétale en matériaux de construction, le CF2B rassemble les interprofessions de matériaux bruts.



Figure 6 : Membres des 2 principaux regroupements des matériaux biosourcés

En Bretagne s'est constituée en 2019 la Fédération Bretonne des Filières Biosourcées ou [FB]² dans le but de promouvoir et d'aider au développement les matériaux biosourcés et les techniques qui y sont associées. Elle place au même niveau chacun des matériaux (bois, paille, chanvre et lin, ouate de cellulose, textile recyclé, algues, roseaux et terre crue) et agit dans ce sens.



Cette fédération prend de l'ampleur aujourd'hui puisqu'elle lance un Appel à Manifestation d'Intérêt pour « Construire avec les matériaux biosourcés ». L'objectif de cet AMI est de proposer aux collectivités territoriales bretonnes de dédier des fonciers et des immobiliers publics à la construction de projets valorisant les solutions à base de biosourcés et de terre crue. [FB]² a bien compris la nécessité

d'accompagner les collectivités dans la mise en place de projets de construction durable puisqu'elles représentent un vecteur très important de changement.

Les collectivités locales

C'est au cours de mes recherches qu'il m'est apparu important de parler des collectivités territoriales puisqu'elles représentent un moyen d'action très important pour rendre effectif les réponses à apporter aux problèmes environnementaux. Leur devoir d'exemplarité les oblige à bâtir de manière durable et saine. En 2016, le Ministère de l'Economie et des Finances rappelait ce rôle prééminent de la commande publique dans son « Guide de l'Achat Public : l'achat public, une réponse aux enjeux climatiques » (Cantillon, 2016). L'observatoire de la commande publique de maîtrise d'œuvre en bâtiment et aménagement indique que la commune est le maître d'ouvrage le plus actif avec environ 30% des opérations de la commande publique (notamment pour des bâtiments destinés à l'enseignement) (Romon, 2019). Il indique également qu'en 2019, la commande publique génère de l'ordre de 1,2 milliards d'euros de travaux par mois ! La commande publique représente 10% du PIB français et est un acteur fort du développement des territoires. Le contexte réglementaire est aujourd'hui plus favorable pour incorporer des écomatériaux dans la commande publique (FREC et loi AGEC sur l'économie circulaire et le réemploi notamment)

Dans son rapport intitulé « 22 retours d'expériences pour des bâtiments publics durables et sains » (BRUDED, 2019), le réseau BRUDED souligne l'importance d'une volonté politique forte et la nécessité d'un engagement continu de la part des élus pour que la commande publique s'inscrive dans le cadre de la construction durable.

CSTB

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment exerce cinq activités clé – recherche, expertise, certification, évaluation, diffusion des connaissances – qui lui permettent de garantir la qualité et la sécurité des bâtiments. Il accompagne les acteurs dans le cycle de l'innovation de l'idée au marché et dans la transformation du monde du bâtiment en lien avec les transitions environnementale, énergétique et numérique. C'est aujourd'hui un acteur incontournable de la construction et donc de l'écoconstruction puisqu'il permet (ou non) l'utilisation de techniques nouvelles.

Le CSTB est agréé pour délivrer les avis techniques (ATec), agréments techniques européens (ATE), appréciation technique d'expérimentation (ATEX), les documents techniques d'application (DTA) et ACERMI.

ACERMI (Association pour la CERTification des Matériaux Isolants)

La certification ACERMI est le résultat d'un double engagement entre le fabricant, qui s'engage à mettre en place un système qualité et les moyens nécessaires pour contrôler la qualité de ses produits et le maintien de cette qualité dans le temps ; et le certificateur, organisme indépendant, compétent et reconnu, dont le rôle est de garantir la véracité des caractéristiques annoncées et de les réévaluer périodiquement. Le contrôle des produits se fait deux fois par an, avec un prélèvement en usine, qui sera analysé par les laboratoires du certificateur (CSTB et LNE). Un exemple d'ACERMI pour l'isolant Biofib'Trio se trouve en annexe 7. Les certificats ACERMI garantissent avant tout la conductivité thermique du matériau isolant. Ils peuvent parfois certifier la réaction au feu, la tolérance sur l'épaisseur du matériau, la transmission de la vapeur d'eau ou d'autres caractéristiques mais ce n'est pas son objet premier.



AQC

L'Agence Qualité Construction est une association loi 1901 qui regroupe toutes les organisations professionnelles de la construction autour d'une même mission : prévenir les désordres dans le bâtiment et améliorer la qualité de la construction. A travers son dispositif « REX Bâtiments Performants », l'AQC met en exergue les bonnes pratiques mais aussi les erreurs souvent commises par les entreprises du bâtiment. Ces retours d'expériences sont basés sur l'audit *in situ* de chantiers. La Commission Prévention Produit ou C2P étudie des produits ou procédés industriels ainsi que les textes régissant leur mise en œuvre afin de maîtriser les risques liés à leur utilisation. Elle dispose d'une antenne régionale à Rennes afin d'inscrire son action de prévention des pathologies du bâtiment et d'amélioration de la qualité des projets dans un dialogue permanent avec les acteurs locaux de la construction.



Les laboratoires de recherche

Une autre catégorie transversale à la construction durable est celle des laboratoires de recherche. Par laboratoires de recherche on entend ici les principales entités de Recherche (Universités, Laboratoires, UMR, LabEx, école d'architecture et d'ingénieur) qui affichent des activités en lien avec la construction durable.

Dans l'étude sur les lieux de la recherche en éco-conception (Latortue, Yannou, Leroy, & Cluzel, 2018) : 3 établissements étaient cités dans le Grand Ouest parmi les 26 en France.

- Ecole Supérieure d'Ingénieurs des Travaux publics de Caen (ESITC)
- Université de Nantes/Centrale Nantes "GeM - Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique
- UMR1563 Ambiances, Architectures, Urbanités

- Institut Français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) qui s'appelle désormais l'Université Gustave Eiffel (dont Erwan Hamard, chercheur spécialiste de la construction en terre, fait partie)

Auxquels nous pouvons ajouter :

- IRDL Institut de Recherche Dupuy de Lôme - Université Bretagne Sud
- Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM) de l'INSA Rennes et l'Université de Rennes 1 (dont Florence Collet, chercheuse spécialiste du comportement physique du chanvre)

Le rapport intermédiaire du Plan Bâtiment Grenelle (Pelletier, 2011) avance quelques chiffres permettant de se rendre compte du peu de financement alloué à la recherche dans le BTP en général : « Alors que le secteur du BTP contribue à 11% du Produit Intérieur Brut (PIB) du pays, il ne représente que 0,1% des dépenses de R&D pour une moyenne nationale de 2,4 % . ».

Il paraît compliqué de faire une analyse exhaustive de tous les acteurs de l'écoconstruction de la région Grand Ouest du fait de la taille de la région d'études et du fait de la constante évolutivité de ceux-ci. Beaucoup d'entreprises ou organismes disparaissent où se créent chaque mois puisque c'est un secteur en pleine ébullition. Cependant, nous devons garder à l'esprit dans la suite de notre étude la diversité des acteurs de l'écoconstruction, résumée dans le graphique ci-dessous.

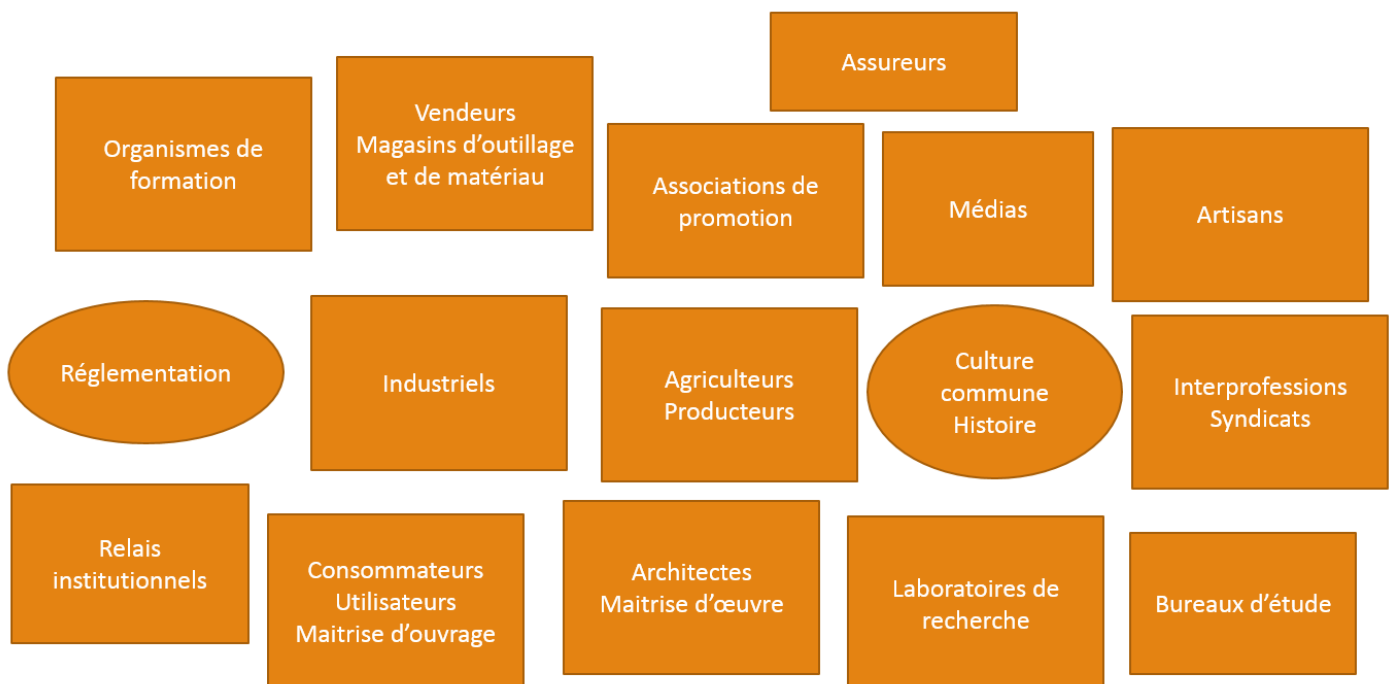


Figure 7 : Schéma récapitulatif de l'ensemble des acteurs intervenant dans l'écosystème de l'écoconstruction

1.2.4. Documents de référence - Norme et réglementation

Dans l'écosystème de l'écoconstruction, il est essentiel de parler de la réglementation et des normes puisqu'elles conditionnent en partie le développement de ce domaine. De fait, des techniques normées ou des matériaux agréés verront leur utilisation facilitée.

Agrément Technique Européen (ATE)

L'Agrément Technique Européen est une spécification technique harmonisée au sens de la Directive Produits de Construction, alternative aux normes harmonisées. Cette démarche analogue à celle de l'Avis Technique français, s'applique à un produit pour un usage déterminé, hors évaluation de la mise en œuvre, pour un site de fabrication et pour une durée de cinq ans. L'ATE n'est utilisé que lorsqu'il a été estimé qu'il n'était pas possible ou pas encore possible d'élaborer des normes européennes harmonisées pour cette catégorie de produits. L'ATE est délivré en France par le CSTB, et a une validité de 5 ans.

Avis Technique (ATec)

L'Avis Technique est destiné à fournir, à tous les participants à l'acte de construire, une opinion autorisée sur les produits, procédés et équipements nouveaux, pour un emploi défini. Il indique notamment dans quelles mesures le procédé ou produit satisfait à la réglementation en vigueur, est apte à l'emploi en œuvre et dispose d'une durabilité en service. L'Avis Technique est délivré par le CSTB, et a une validité de 2 ans.

Document Technique d'Application (DTA)

Le Document Technique d'Application est une forme particulière de l'Avis Technique. Il désigne l'avis formulé pour l'emploi d'un produit ou composant relevant du marquage CE. Lorsque ce n'est pas le cas, le terme Avis Technique est employé. Le DTA est délivré par la commission chargée de formuler les ATec du CSTB.

Documents Techniques Unifiés (DTU)

Les DTU sont des cahiers des charges types pour les travaux, utilisables comme référence pour l'établissement des clauses contractuelles de chaque marché de travaux pour la réalisation d'un ouvrage donné. Ils ont le statut de norme (NF DTU) et sont élaborés par des commissions de normalisation sous le contrôle général de l'AFNOR. À ce titre, ils demeurent strictement optionnels et contractuels, même s'ils jouissent d'une forte reconnaissance comme représentatifs des bonnes pratiques capables d'assurer aux ouvrages réalisés les résultats attendus en termes de qualité, de comportement à l'usage et de durabilité. Ils sont délivrés par la Commission Générale de Normalisation du Bâtiment, dont le CSTB assure le certificat.

Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEx)

La procédure de l'ATEx, a pour but de contribuer au développement des innovations dans le bâtiment, en leur facilitant l'accès à des applications expérimentales par l'obtention rapide d'une appréciation technique formulée par des experts. Cette appréciation peut porter sur un produit, un matériau, un composant, un équipement, ou un procédé nouveau et innovant pour lequel il n'est pas possible, ou pas encore possible d'instruire un avis technique. On observe trois catégories d'ATEx :

- ATEx de type « a » est destinée aux produits, matériaux, composants, équipements ou procédé pour lesquels il n'existe pas d'Avis Technique portant sur un système similaire.
- ATEx de type « b » concerne un projet de réalisation identifié et mettant en œuvre, à titre expérimental, une ou plusieurs techniques non traditionnelles pouvant relever de l'Avis Technique mais n'ayant pas encore fait l'objet de cette procédure.
- ATEx de type « c » s'applique à de nouvelles réalisations expérimentales d'une ou plusieurs techniques ayant préalablement fait l'objet d'une ATEx de type « b ».

L'ATEx est délivré pour un chantier spécifique, ou pour une durée et un nombre d'applications limités. Il est aussi possible de dupliquer une ATEx pour des chantiers similaires.

En 2019, à la suite de la loi Essoc, un décret instaurant le droit de déroger à la réglementation a été publié. Il permet de généraliser le principe de remplacement de l'objectif de moyens par l'objectif de résultats lorsqu'une solution technique est dite d'« effets équivalents ». Ce *permis d'expérimenter* permettrait de satisfaire les mêmes conditions d'innovation qu'un ATEx tout en allégeant la procédure et à moindre coût. Le coût des ATEx est donné ci-dessous par la figure 8 à titre indicatif mais montre le poids qu'il peut représenter dans un chantier.

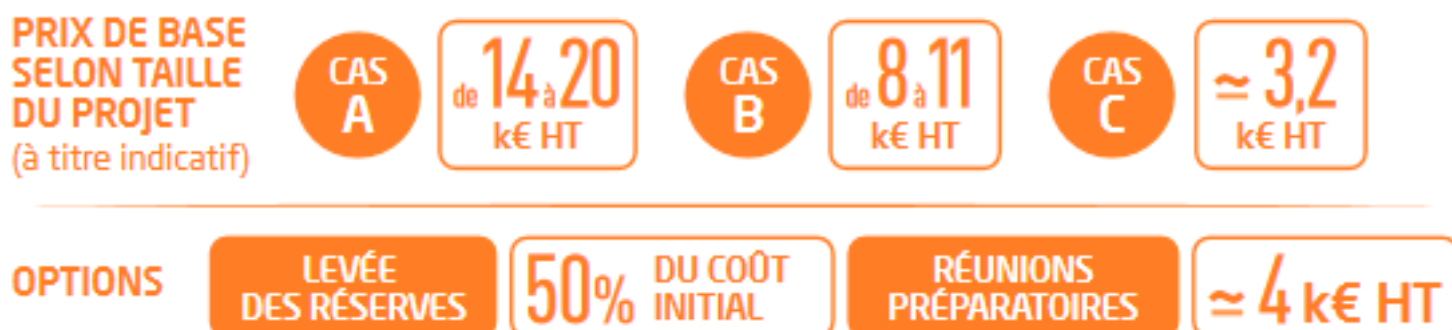


Figure 8 : Coût des différentes ATEx

Règles professionnelles

Les règles professionnelles sont catégorielles et traitent d'ouvrages traditionnels non couverts par un DTU. Elles peuvent servir de base à l'élaboration d'un futur DTU.

Elles sont éditées par des organismes professionnels du bâtiment, entourés d'experts, et sont ensuite soumises à la Commission de Prévention des Produits mis en œuvre (C2P), afin que celle-ci puisse éventuellement identifier les techniques susceptibles d'engendrer des risques et sinistres, et cela pour une durée indéfinie, jusqu'à révision.

Les règles professionnelles validées par la C2P sont nombreuses, on peut par exemple citer :

- Les Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois
- Les Règles Professionnelles - Technique de construction des murs en pierre sèche

Les Guides de Bonnes Pratiques

Les guides de bonnes pratiques sont des documents normatifs. Ils sont évolutifs, d'application volontaire, et conçus au cours d'un processus collectif par une branche professionnelle pour les opérateurs de leur secteur. Ils constituent une référence pour l'ensemble des professionnels concernés directement ou indirectement par le bâtiment. Seul le domaine de la construction en terre crue possède ce genre de document à ce jour. La terre crue a choisi à ce jour de rédiger des guides de bonnes pratiques qui donnent plus de souplesse dans leur utilisation car les techniques utilisant la terre et la composition même des terres sont très variées. Pour reprendre une expression sur cette richesse de la construction en terre, « c'est comme si l'on voulait faire rentrer l'ensemble de la gastronomie française dans un livre de 30 recettes ».

A titre comparatif, il existe également les guides de bonnes pratiques d'hygiène permettant aux professionnels de maîtriser la sécurité sanitaire des denrées alimentaires et des aliments pour animaux.

Le tableau 2 ci-dessous récapitule l'ensemble de ces documents de références et leurs spécificités.

Document	Remarque	Coût	Délivré par	Durée de Validité
ATE	Permet d'appliquer le marquage CE sur les produits	/	CSTB	5 ans
ATec	Fourni un avis sur un produit ou un procédé	De 7 000 à 25 000€	CSTB	2 ans
DTA	Forme particulière de l'ATec pour des produits au marquage CE	De 7 000 à 25 000€	CSTB	Entre 2 et 7 ans
NF DTU	Cahier des charges types de la construction en France	/	Commission Générale de Normalisation du Bâtiment (CSTB)	Périodiquement révisé
ATEx	De 3 types (a, b ou c) Pour un projet ou un produit	Environ 10 000€	CSTB	2 ans (a) Chantier (b et c)
Règles Professionnelles	Rédigées par un comité d'expert	Environ 30 000€	Validées par la C2P (AQC)	Illimitée
Guides de Bonnes Pratiques	Techniques faisant consensus au sein de la profession	/	Validés par les professionnels du domaine	Illimitée

Tableau 2 : Tableau synthétisant les caractéristiques des différents documents normatifs

Technique courante et non courante :

Les assureurs et les bureaux de contrôle vont distinguer les techniques courantes des techniques non courantes puisqu'ils estiment que les techniques dites courantes ont des sinistralités moins importantes. Cette distinction s'appuie en partie sur l'analyse de la C2P. Les techniques non courantes peuvent toutefois être utilisées dans la construction mais elles doivent faire l'objet d'un accord entre l'assuré et l'assureur. Une surprime peut être appliquée. De la même façon, le choix du bureau de contrôle est primordial lorsqu'on utilise des techniques non-courantes (parfois dites de savoir-faire traditionnel) car s'il n'est pas au fait de ces méthodes constructives, il sera bloquant dans l'acceptation de celle-ci.

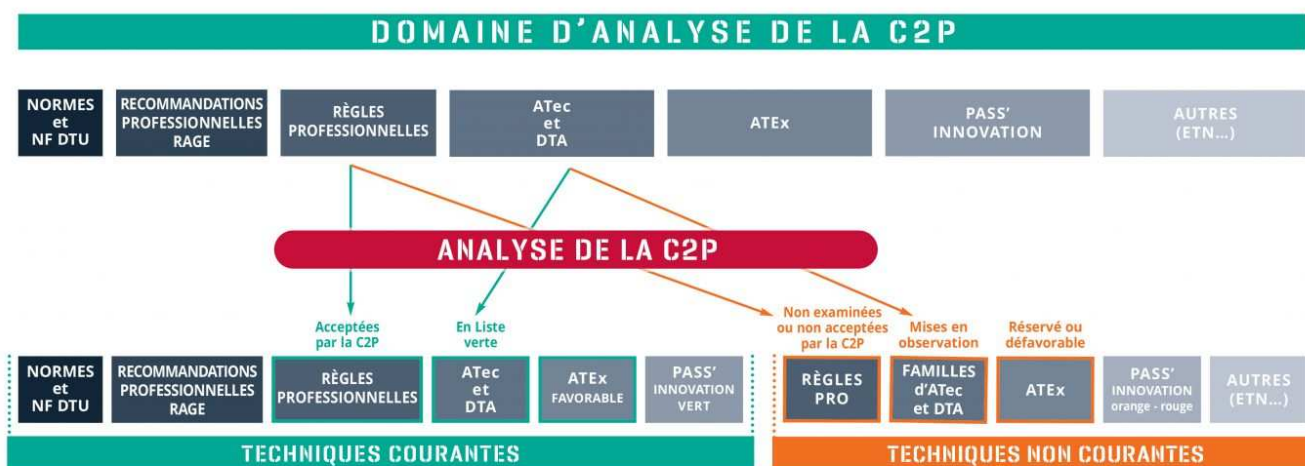


Figure 9 : Domaine d'analyse de la C2P (Convention Prévention des Produits)

On retrouve ci-dessus la figure 10 représentant la classification des différents documents entre les techniques courantes et non courantes.

1.2.5. Base INIES : FDES et PEP

La base de données INIES est la base de données nationale de référence sur les données environnementales et sanitaires des produits et équipements de la construction. INIES met à disposition des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de produits de construction et des Profils Environnementaux Produits (PEP) pour les équipements du bâtiment, fournis par les fabricants ou syndicats professionnels. Ces déclarations correspondent au format de la norme européenne NF EN 15804 et de la norme NF XP C08-100-1.



Différents types de FDES et PEP :

- Déclaration **individuelle** lorsqu'elle est produite par un seul fabricant.
- Déclaration **collective** lorsqu'elle est produite par plusieurs organismes.
- Déclaration **par défaut**, anciennement Module de Donnée Environnementale Générique par Défaut (MDEGD) : donnée générique par défaut mise à disposition par le ministère en charge de la construction, en prévision de la prochaine RE2020 qui utilisera l'ACV pour étudier la performance environnementale des bâtiments. Elle est aussi appelée Donnée Environnementale par Défaut (DED). Trois cas peuvent servir à l'élaboration d'une DED. Le premier correspond à celui où une seule FDES ou PEP est disponible (où est appliqué une majoration de 100%), le second quand plusieurs FDES ou PEP sont disponibles (majoré de 30%) et le dernier lorsqu'il n'existe aucune FDES ou PEP similaire (extrapolé avec des données d'Inventaire de Cycle de Vie générique).

Il existe d'autres bases regroupant des Déclarations Environnementales de Produit (DEP) comme la base EcoInvent (Association suisse), la base européenne ELCD (European reference Life Cycle Database) ou encore la base UBP-UCÉ84 établie par la KBOB (entité gouvernementale suisse).

Les données environnementales et sanitaires résultantes proviennent de l'Analyse de Cycle de Vie des produits. Une ACV est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit, d'un service, d'un procédé, sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son traitement en fin de vie, en passant par les étapes de mise en œuvre et de vie œuvre. Les différentes étapes passant au crible de l'ACV sont présentées dans la figure 11.

Étape de fabrication			Étape de mise en œuvre		Étape de vie en œuvre							Étape de fin de vie				Bénéfice et charges au-delà des frontières du système
A1 Approvisionnement en matières premières	A2 Transport	A3 Fabrication	A4 Transport	A5 Installation	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	C1 Déconstruction / Démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Élimination	Module D

Figure 10 : Etapes prises en compte dans les ACV

Le module D présente les bénéfices et charges au-delà des frontières du système d'étude de l'ACV. Il sert notamment à la valorisation des déchets en fin de vie. Par exemple, les produits en bois déclarent ce module D puisqu'ils sont valorisés au moins partiellement en fin de vie.

Parmi les 4591 références que compte la base INIES (au 12 mars 2020), 3630 sont des produits de constructions (dont 1264 concernant l'isolation), 914 des équipements et 47 des services. Le ministère de l'écologie est le premier organisme déclarant avec 1402 DED. Ensuite vient Saint-Gobain Isover avec 296 références puis Placoplâtre (détenu par Saint-Gobain) avec 255 références. Knauf et Rockwool sont respectivement 4^{ème} et 5^{ème}.

L'analyse des projets répertoriés au sein de l'observatoire E+C- a mis en exergue qu'entre 40 et 50 % des données utilisées dans les ACV bâtiment de l'expérimentation sont des DED, dont une partie est utilisée alors même que des FDES spécifiques correspondantes existent dans la base INIES. D'autant que les FDES et PEP individuels ou collectifs sont le meilleur moyen de réaliser une ACV Bâtiment conduisant à un bilan environnemental au plus proche de la réalité, comparativement aux DED qui en donnent une valeur surévaluée.

Depuis le 1er Juillet 2017, les fabricants et dépositaires de FDES doivent faire vérifier par une tierce partie indépendante (les vérificateurs habilités) la conformité de leurs déclarations environnementales. Toutes les données enregistrées dans le Programme INIES et PEP ecompassport sont valides pour 5 ans. Mais s'il y a un changement significatif dans un des procédés, la FDES devrait être révisée.

Les différents critères identifiés dans les FDES et PEP sont visibles en annexe 8. Cependant nous pouvons détailler deux d'entre eux, déterminants dans la prochaine RE.

Les indicateurs « énergie » :

Pour les produits de construction et les équipements, l'indicateur "utilisation d'énergie primaire" correspond à l'énergie primaire "prélevée" par le produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Cela représente donc la somme des énergies prélevées dans la nature (gaz, pétrole, minerai d'uranium,

biomasse, vent, géothermie ...) nécessaires à la fabrication, au transport, à la mise en œuvre, à la vie en œuvre et à la fin de vie de ce produit. Cette énergie primaire comprend une part renouvelable et une part non renouvelable. Elle comprend aussi une part "matière" et une part "procédé". La part "matière" correspond à la quantité d'énergie que l'on peut théoriquement récupérer par combustion du produit (cas des produits contenant des polymères ou de la biomasse). L'énergie "procédé" correspond à l'ensemble de l'énergie primaire investie dans les procédés de transformation, de fonctionnement et de transport de la matière sur l'ensemble du cycle de vie du produit. Les FDES et les PEP contiennent donc les valeurs des 4 indicateurs énergétiques correspondants pour le produit concerné, auxquels on peut ajouter les indicateurs « Utilisation de combustibles secondaires » renouvelables et non renouvelables, c'est-à-dire récupérés après une première utilisation ou issus de déchets, qui remplacent des combustibles primaires (issus de source renouvelable ou non).

L'indicateur « changement climatique »

Il sert à évaluer la contribution du produit de construction ou de l'équipement à l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre. Il est admis que l'augmentation de l'effet de serre entraîne des modifications du climat de la Terre, et notamment une augmentation de la température moyenne, d'où le nom de l'indicateur. Il est exprimé en kg équivalent CO₂ (dioxyde de carbone) et regroupe toutes les émissions de gaz à effet de serre du produit tout au long de son cycle de vie. Tous les gaz n'ont pas le même effet mais ils sont tous rapportés en équivalent carbone. Par exemple, 1kg de CH₄ équivaut à 25kg de CO₂.

Il est important pour les bâtiments faits en France de s'appuyer sur les FDES de la base INIES puisque celles-ci correspondent aux réalités françaises, même si la norme de réalisation des ACV est commune (comme la norme européenne EN 15804). En effet, les mix énergétiques varient selon les pays et les filières de réemploi, recyclage et valorisation des déchets différent. Par exemple, une mise en décharge émettra peu de GES puisqu'il n'y a pas de combustion mais verra son taux d'énergie primaire totale élevé du fait du compactage de la matière. Alors que l'incinération des déchets pour une valorisation énergétique aura pour incidence une forte émission de GES mais utilisera que peu d'énergie primaire. De la même façon, l'énergie électrique française provenant à environ 80% du nucléaire, elle n'émet pas beaucoup de CO₂ mais produit des déchets nucléaires contrairement à l'Allemagne qui possède plus de centrales à charbon, émettrice de GES.

Il n'y a pas de réglementation ou de normes sur des seuils ou des limites sur ces critères pour les matériaux. On ne peut donc pas exclure tel ou tel matériaux s'il possède une valeur trop élevée. Les FDES et PEP ne sont réalisés qu'à titre indicatif. Cependant, il est possible de comparer les valeurs d'impacts environnementaux de différents systèmes constructifs pour savoir lequel est le plus impactant.

1.3. Les filières dans le Grand Ouest

Pour introduire l'étude des filières d'écomatériaux dans le Grand Ouest, nous pouvons regarder la carte (figure 12) référençant les chantiers participatifs sur le site Twiza (réseau dédié à l'écoconstruction). On note que le Grand Ouest, et tout particulièrement la Bretagne historique concentre beaucoup des chantiers participatifs français. Faut-il y voir un certain dynamisme des filières ? C'est ce que l'on va voir présentement.



Figure 11 : carte référençant les chantiers participatifs inscrits sur le réseau Twiza

1.3.1. Définitions et périmètre d'études

Il est nécessaire de définir les termes, le périmètre de mon étude et la méthodologie qui va être utilisée pour analyser la structuration des filières. Je vais notamment m'appuyer sur les définitions d'un rapport wallon sur la structuration des filières en circuits courts (Plateau, Holzemer, Nyssena, & Maréchal, 2016).

Le terme « filière » définit l'ensemble des acteurs d'une chaîne d'activité économique permettant de passer d'une matière première à un produit vendu au consommateur final. On peut distinguer les acteurs directs impliqués dans le processus de production des acteurs indirects, gravitant autour de la filière et la faisant rayonner ou non.

La notion de « structuration de filière » renvoie aux différentes formes d'association et de coopération pouvant émerger entre acteurs d'un secteur de la construction ainsi qu'aux démarches visant une plus

grande maîtrise des différents éléments d'une chaîne économique. Ces éléments peuvent être classés selon cinq phases principales :

- la production primaire ;
- la pré-transformation (ou transformation première) ;
- la transformation (ou transformation secondaire) ;
- la distribution et la logistique y afférant ;
- la mise en œuvre du produit fini ;

Lorsque l'on parle de filière courte, dans lesquels s'inscrivent certains écomatériaux, on désigne ainsi une filière avec peu d'intermédiaires entre le producteur et le consommateur final, ayant pour conséquence une proximité géographique et relationnelle entre ces acteurs.

Différentes relations peuvent opérer au sein d'une filière. Une filière dite « intégrée » voit ses parties prenantes interdépendantes puisqu'ils jouent un rôle complémentaire au sein de la filière. Par exemple, les agriculteurs producteurs de chanvre travaillent avec les transformateurs pour s'assurer de la vente de leur culture, et les transformateurs garantissent ainsi leur besoin en matière première. De façon concomitante ou complémentaire à l'**intégration verticale**, il y a une **coopération horizontale** entre les acteurs. Par exemple, les producteurs de chanvre peuvent mutualiser certaines machines agricoles puisqu'ils en ont l'utilité que peu de jours par an. Ils partagent également leur connaissance sur la culture de la plante.

Une filière structurée se doit de partager des valeurs et une vision commune.

1.3.2. Zone géographique

Le positionnement d'Ecobatys au carrefour de la Bretagne, des Pays de la Loire et de la Basse-Normandie lui permet de rassembler des acteurs de ces différentes régions et de drainer pour ses formations un large territoire, c'est pourquoi mon étude concerne ces 3 régions. Les organismes structurant les filières des écomatériaux se regroupent au niveau national pour avoir plus de poids mais elles ont en général un ancrage régional fort. L'examen suivant des filières ne se réduira pas strictement à ces 3 régions puisqu'une vision globale est nécessaire.

Dans notre cas d'études, il est également plus intéressant d'examiner l'organisation des filières entre différentes régions afin de mettre en exergue les différences ou les similarités de leur structuration. De plus, certaines filières comme la terre ont souhaité se structurer sur une échelle plus grande que celle de la région afin de rassembler les acteurs d'une même culture constructive.

1.3.3. Matériaux

De nombreux matériaux biosourcés et géosourcés sont présents sur notre territoire d'étude et peuvent être utilisés dans la construction ou la réhabilitation de bâtiment. J'ai cependant décidé d'étudier les filières qui sont à l'heure actuelle déjà bien identifiées ou celles ayant un potentiel de développement intéressant pour le territoire et pour Ecobatys.

Ainsi, il va être décrit plus ou moins exhaustivement la structuration des filières : bois, terre, paille, chanvre, ouate de cellulose, lin, coton recyclé, laine de mouton.

Bois

Le bois est depuis toujours utilisé dans la construction. Avant l'apparition du métal, il était constamment utilisé pour la charpente. Cependant, depuis plus de 10 ans, son usage prend un nouvel essor grâce au développement de nouveaux systèmes constructifs ou à l'apparition sur le marché de nouveaux produits innovants en bois.

La construction bois représente près du tiers du marché bois en France, le reste concernant la pâte à papier, l'emballage (palette et cageot), l'ameublement, le bois énergie et tous les autres produits manufacturés à base de bois. En France, près de 11% des maisons individuelles et 20% des agrandissements/extensions sont en bois. A la fois esthétique, performant et écologique, celui-ci participe à faire évoluer les villes. Que ce soit des habitations individuelles, collectives ou encore des bâtiments publics, il offre de nombreuses possibilités pour construire, surélever, rénover et s'agrandir.

Utilisation du bois :

Le bois peut être utilisé dans presque toutes composantes d'un logement. Il peut servir à l'ossature, à la charpente, au bardage, à l'isolation, aux menuiseries ou encore au sol. L'isolation en fibre de bois représente environ la moitié des isolants biosourcés vendus sur le marché français. De plus, la technique de construction en ossature bois (la plus répandue) permet une intégration facile des matériaux biosourcés en vrac (ouate de cellulose, fibre de bois) ou en botte de paille. Des bétons de bois (pour la fabrication de blocs à hauteur de 80% de bois et 20% de ciment) apparaissent également sur le marché. La société Xelis située en Mayenne est spécialisée dans la fabrication de ces parpaings, vendus sous l'appellation Thermibloc.

L'annexe 1 présente le schéma d'ensemble de la filière forêt-bois.

Ressources de bois :

La forêt représente 31% de la superficie française, soit 16 millions d'hectare. Le taux de couverture forestière varie cependant de 14% à 11% pour la Bretagne (0,4 Mha), la Normandie (0,42 Mha) et les Pays

de la Loire (0,34 Mha). Toutefois, elles font partie des régions françaises avec le taux d'accroissement biologique le plus important, ce qui signifie que la surface boisée augmente chaque année. Ceci est la conséquence d'une déprise agricole sur des terres peu arables ou difficilement cultivables. En Bretagne, c'est l'équivalent de 56% de l'accroissement biologique qui est prélevé, ce qui signifie que les 44% restant correspondent à l'augmentation des surfaces boisées.

Le stock d'arbres sur pied en Bretagne est de 75 millions de mètres cube, ce qui fait 22m³ par habitant. En comparaison, il faut entre 10 et 15m³ de bois pour construire une maison individuelle en ossature bois.

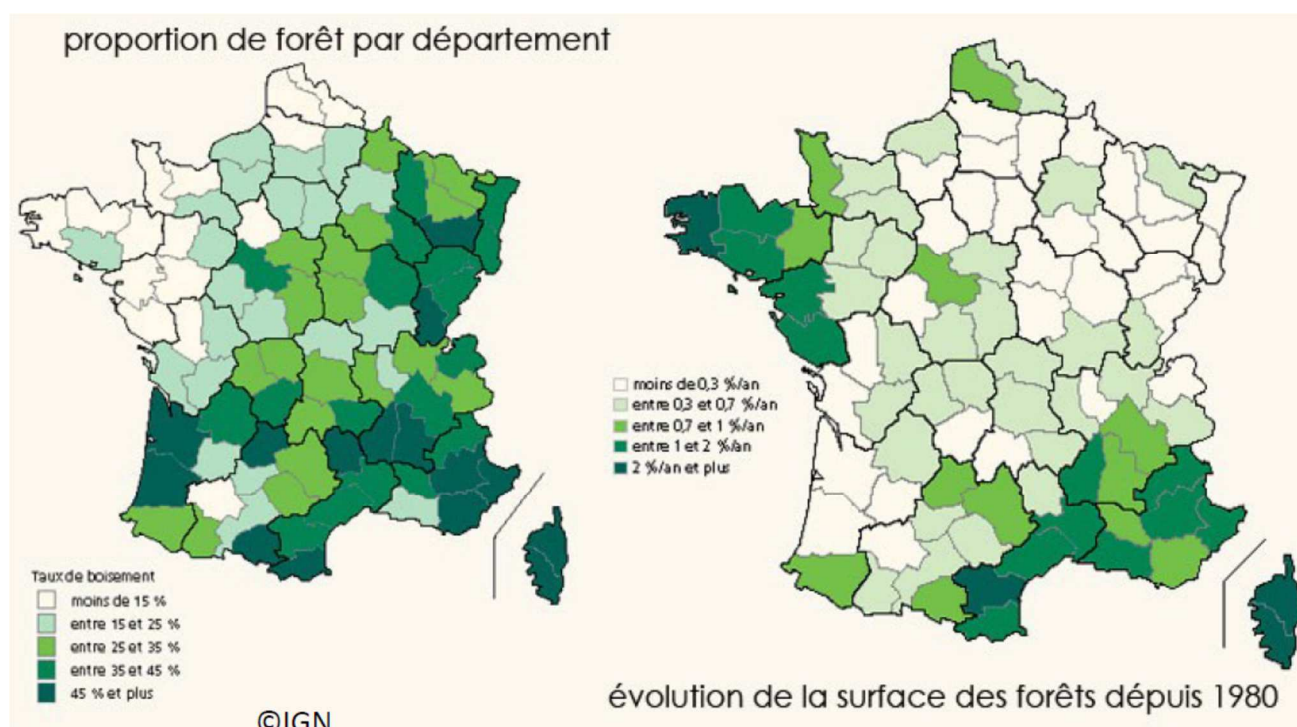


Figure 12 : Taux de boisement par département (à gauche) et évolution des surfaces boisées (à droite)

Normes et réglementation :

La construction en bois possède son DTU, le numéro 31. Il existe également l'Eurocode 5 qui définit l'ensemble des règles de la construction en bois. Les label PEFC et FSC garantissent que l'exploitant forestier gère sa forêt de manière durable. Au niveau des déclarations environnementales, c'est plus de 300 FDES qui sont référencées pour les différents usages du bois dans la construction.

Acteurs de la filière

La filière bois regroupe un grand nombre d'acteurs économiques, l'INSEE (Lesage, 2018) comptabilisait en 2014 plus de 10 000 postes salariés dans des entreprises se consacrant exclusivement au travail du bois. On note grâce au graphique 14 que la région emploie plus de personnes pour le sciage et le travail du bois, la construction en bois et la fabrication de meubles que la moyenne nationale.

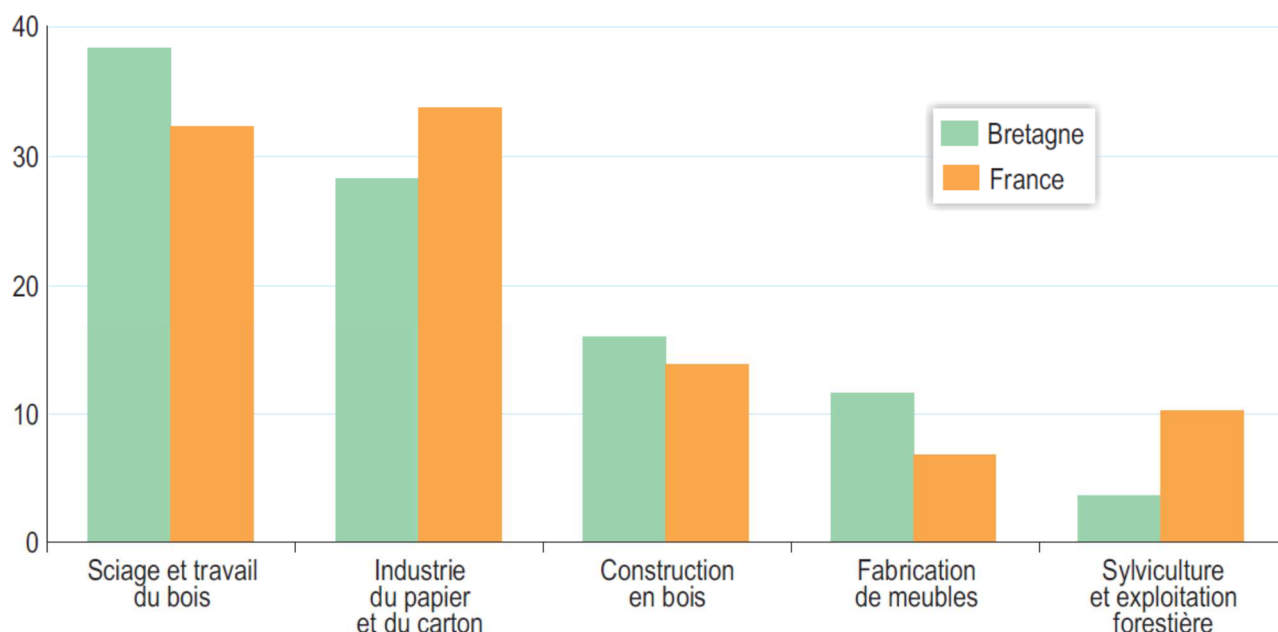


Figure 13 : Répartition des emplois salariés par segment de la filière bois (en %)

Il existe des associations de représentation actives sur le territoire. Abibois en Bretagne compte 320 adhérents, permettant de représenter l'ensemble de la filière (des scieries, des acteurs de la seconde transformation, des architectes et maîtres d'œuvre, des professionnels de la construction, des bureaux d'études ou encore des promoteurs immobiliers). L'équivalent breton d'Abibois dans les Pays de la Loire est **Atlanbois** et en Normandie c'est Filbois Normandie. A l'échelle nationale, ces différentes entités régionales se sont regroupées au sein de Filbois France (anciennement France Bois Régions). Il existe également l'interprofession France Bois Forêt qui représente la filière amont, c'est-à-dire les forestiers, les scieries ou les acteurs du bois énergie. La filière aval (1^{ère} transformation de pâte de cellulose, les matériaux de construction en bois, les entreprises du bâtiment et de l'ameublement) est quant à elle représentée par la FBIE, France Bois Industries Entreprises. L'Union Industrielle Constructeurs Bois est également un acteur emblématique de l'acte de construire en bois.



Figure 14 : Infographie des principales associations de représentation du territoire

Ces dernières années, on peut remarquer une **montée en puissance** de la construction bois. Ce matériau pertinent au regard des exigences environnementales devient de plus en plus compétitif grâce à la **préfabrication** notamment. De nouveaux systèmes constructifs voient le jour et de nouveaux marchés porteurs se développent (bâtiments tertiaires, constructions de grande hauteur). En d'autres termes, tous les indicateurs sont au vert pour que le bois dans la construction continue de prendre de l'importance à l'avenir. Il faut cependant faire attention à la ressource. Nous sommes tout de même importateur de beaucoup de bois d'œuvre.

Terre

Historique

La terre crue est un matériau de construction utilisé depuis des millénaires, c'est pourquoi de nombreuses bâtisses en terre sont présentes dans certains territoires (cf. annexe 6). Cependant, l'utilisation de la terre a connu un grand déclin ces derniers siècles. Elle revient au goût du jour mais elle a du mal à faire sa place dans le paysage de la construction puisque c'est un matériau complexe (la granulométrie et la composition des terres changent d'un endroit à l'autre).

Caractéristique technique et utilisation

Pour bien comprendre ces difficultés, il faut d'abord savoir que la terre (minérale) est de **composition totalement différente** en fonction des régions et ses techniques constructives varient de la même façon. **Bauge, pisé, torchis, adobe** sont les principales techniques de système constructif, même si on voit l'apparition de la **terre coulée**, de la **terre allégée** ou de **BTC**. Les **enduits** sont une autre manière d'utiliser la terre.

Réglementation et normes

De par la perte des connaissances vernaculaires de la construction terre et le pluralisme des terres, l'ensemble des techniques possibles de mise en œuvre n'est pas connu. Il n'existe pas aujourd'hui de Règles professionnelles de la construction en terre crue (sauf pour les enduits sur support en terre crue et sur botte de paille) mais seulement des **Guides de Bonnes Pratiques**. Ceux-ci ont été validés en 2018, donc très récemment. Cependant, ils comportent des imperfections et des oublis qui devront être corrigés avec le temps, grâce aux retours d'expérience de la part de filière. Lorsque ces guides seront complétés, ils pourront, si les professionnels le souhaitent, être soumis à la C2P pour validation afin de devenir des Règles Professionnelles. Ce qui permettra une plus grande reconnaissance des assurances. Mais les professionnels ne souhaitent pas rédiger ces Règles Professionnelles pour le moment. Il existe sinon qu'une norme en France actuellement et concerne : « Blocs de terre comprimé pour murs et cloisons ». Un ATEEx (Avis Technique Expérimental) délivré par le CSTB ou un « permis de faire » repose sur une approche performancielle de la technique, du matériau ou du système constructif, ce qui peut autoriser son utilisation au regard de ses performances et non de l'expérience déjà existante.

Acteurs

L'association nationale **Asterre** et les collectifs régionaux sont à l'initiative de ces guides. Ils se sont d'ailleurs regroupés au sein de la **Confédération de la Construction en Terre**. Le **Collectif des Terreux Armoricains** rassemble des professionnels de la construction en terre du bassin armoricain, principalement des artisans et des maîtres d'œuvre mais aussi des chercheurs. Il a été créé en 2012. Des

projets de recherches et développement sur la terre crue voient le jour comme le projet **ECOMATERRE**, porté par l'IAUR et l'association Accroterre rassemblant notamment des promoteurs immobiliers, des instituts de recherche, des architectes ou encore des bureaux de contrôle. Lyon et Grenoble concentrent également de nombreux acteurs de la construction terre avec l'exemple du laboratoire CRAterre, un centre international de la construction en terre, fondé en 1979, et devenu une référence mondiale en matière d'architecture de terre, principalement du pisé. Amàco est également un bel exemple de centre de recherche et de formation sur l'architecture contemporaine en terre crue et en fibres végétales, il arrive à très bien vulgariser le sujet.

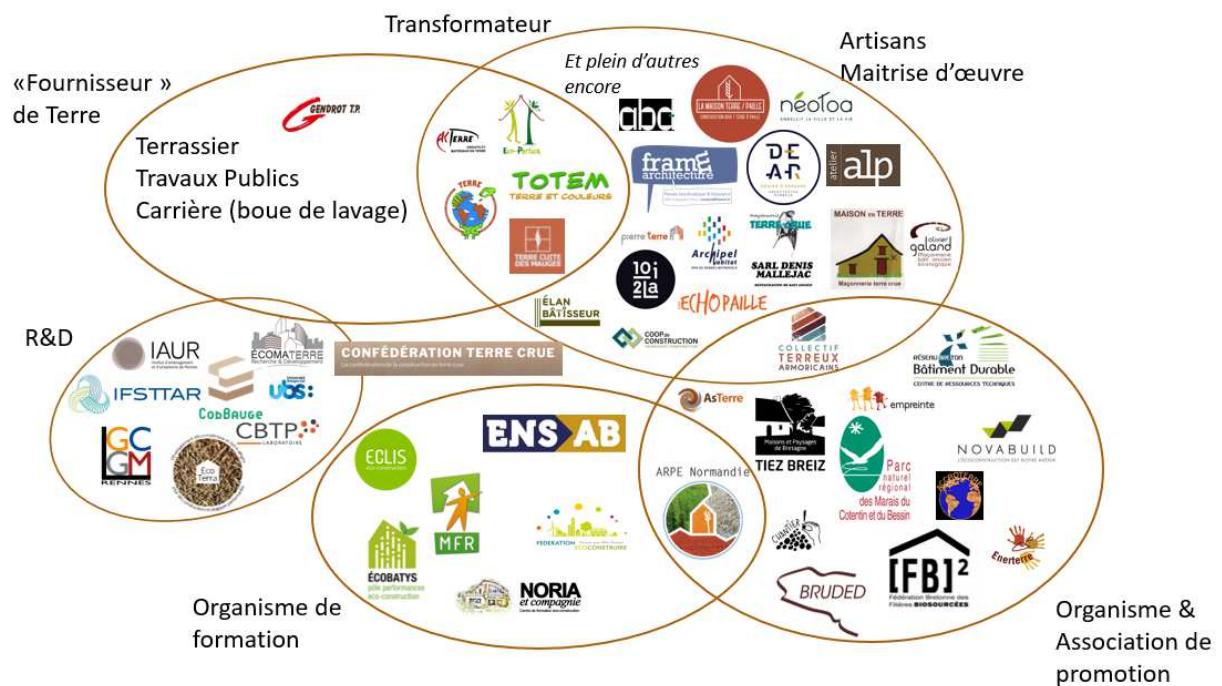


Figure 15 : Représentation non exhaustive des acteurs de la filière terre crue sur le territoire

Freins & Opportunités

Filière prometteuse donc mais faisant face à un certain nombre d'obstacles : un réseau peu coordonné, un enseignement peu diffusé, une méconnaissance des cultures constructives traditionnelles et contemporaines de terre, et une faible capitalisation technique et scientifique (Leylavergne, 2016). Ainsi, à la suite de l'étude, Elvire Leylavergne concluait qu'il fallait concentrer son énergie dans les quatre domaines suivants : le réseau, la formation, la capitalisation technique et la diffusion culturelle.

A travers quoi, elle indique que le développement de la filière passera par :

- La réhabilitation du patrimoine bâti et de nouveaux projets d'éco-construction.
- L'existence d'un tissu professionnel actif et l'émergence d'une nouvelle culture partagée sur l'architecture de terre crue.

- La mise en valeur des chantiers et des réalisations, considérés comme véritables outils de démonstration de la diversité des alternatives constructives.
- La promotion des dynamiques de coopération interprofessionnelle et institutionnelle, valorisant l'ensemble des expériences acquises

La RE2020 devrait permettre à la terre crue de se développer puisque son utilisation (pour la bauge) nécessite 75% d'énergie en moins que les murs conventionnels et son empreinte carbone est réduite de près de 80% par rapport à ces mêmes murs (Ben-Alon, Loftness, Harries, DiPietro, & Hameen, 2019). La filière terre crue connaît actuellement un « **Projet National** » pour lancer des programmes de recherche soutenus par l'Etat afin d'approfondir nos connaissances sur ce matériau ancestral. Un axe de ce PN Terre concerne également la réalisation de fiche **FDES** pour les principales techniques de construction en terre crue puisque celles-ci sont quasi-inexistantes.

Lors d'un échange avec Alain Marcom (expert éminent de la construction en terre crue), il me disait qu'« à l'inverse de certaines filières (comme le bois), les professionnels de la terre crue partagent une culture commune, considérant notamment la terre comme une matière noble ». Cette mobilisation générale pour faire (re)connaître ses atouts est actuellement la clé de son développement.

Disponibilité de la ressource

La majorité des terres minérales (donc hors terre arable/végétale) peut être utilisée dans la construction. La pluralité des techniques permet d'utiliser différentes terres (argileuse, limoneuse, graveleuse, etc.). La terre se trouvant excavée pour des fondations ou quelconques ouvrages peut être utilisée pour la construction à condition qu'elle convienne et pour cela elle doit être caractérisée. Des recherches (Rojat, Hamard, Fabri, Carnus, & McGregor, 2020) sont menées actuellement pour savoir comment l'on peut déterminer facilement si une terre est « constructible » ou non. Il faut savoir que la terre qui sort d'un chantier est considérée comme un déchet. Or l'État – et plus précisément par la loi de finances de 2019, contraint les entreprises à réduire leurs déchets, sous peine de taxation. Par exemple, il faut compter aujourd'hui 42 euros la tonne de déchets rejetés, et son prix passera à 65 euros en 2025 (Godfrain, 2020). La gestion des déchets de chantier devient bel et bien un enjeu économique. C'est pourquoi, un dynamisme a été impulsé autour des terres du Grand Paris avec le projet Cycle Terre qui prévoit d'utiliser ce déchet en ressource et ce d'ici la fin d'année 2021. Une fabrique de transformation de la terre va voir le jour à Sevran.

Paille de blé

La construction en paille connaît un bel essor depuis une dizaine d’années. Privilégiée à l’origine par les auto-constructeurs pour sa facilité de mise en œuvre et son coût réduit, elle est maintenant plébiscitée par un bon nombre d’acteurs. Des exemples de construction publique sortent de terre depuis une dizaine d’années, et ce notamment avec la publication des **Règles Professionnelles** de la construction paille en 2012. Elles constituent le cadre de référence pour l’utilisation du matériau paille comme isolant et support d’enduit. Ainsi, son utilisation peut faire partie des « techniques courantes » de construction. À ce titre, les concepteurs (architectes, bureaux d’études) et les entreprises de construction qui le demandent, peuvent bénéficier de barèmes d’assurance standards (**décennale** notamment). De plus, un référentiel de formation appelé « **Pro-Paille** » a été créé pour former les professionnels à ces règles professionnelles.

Le **RFCP**, Réseau Français de la Construction Paille est à l’origine de ce dynamisme et constitue actuellement le référent national pour la construction paille. Cette association maille le territoire grâce à ses entités régionales. Le **Collectif Paille Armoricaïn** défend le développement de la paille en Bretagne et Pays de La Loire. **ARPE Normandie** et **ACCORT-Paille Normandie** sont les relais du RFCP en Normandie. Cette dernière est l’agence normande d’Accort-Paille. Elle a été constituée en 2019 et est en train de se structurer puisqu’elle embauche un chargé de mission pour développer ses activités. L’association **APPROCHE-Paille**, participe également à la promotion de la paille à l’échelle nationale, plus particulièrement à la technique du GREB (qui utilise que des sections de bois identiques). L’association **BotMobil**, présent sur le territoire permet à des particuliers de construire en paille grâce à l’organisation de chantier participatif encadré par un professionnel.



Figure 16 : Cartographie non exhaustive des acteurs de la construction paille sur notre territoire

Le RFCP dispose actuellement d'un **répertoire** national identifiant les acteurs de la construction paille et des réalisations en paille suivies par le RFCP. De nombreux professionnels en font leur cœur de métier ou y sont sensibilisés, que ce soient des architectes, des maitres d'œuvre ou des artisans. On remarquera qu'aucune personne n'est référencée autour de Fougères. Y a-t-il une place à prendre ?

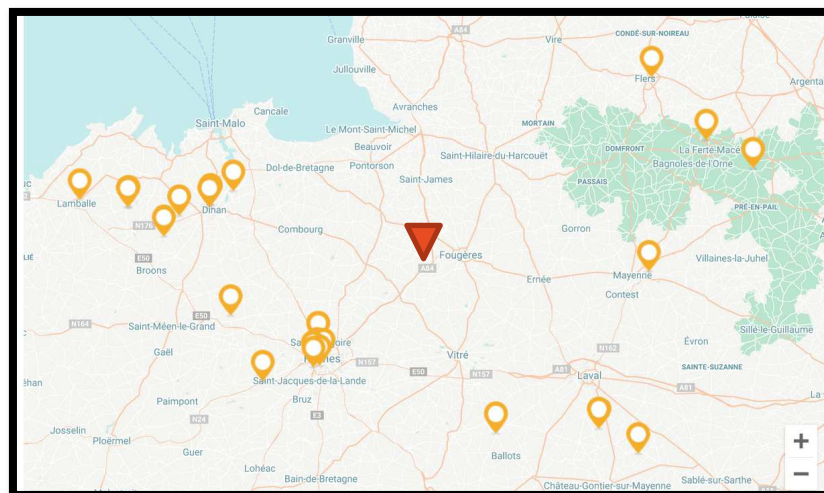


Figure 15 : Cartographie des acteurs répertoriés par le RFCP (le triangle représente Ecobatys)

Pour rappel, on distingue 5 grandes **méthodes constructives** en paille : la paille porteuse, la technique du GREB, la paille en remplissage, l'isolation rapportée et la paille en caisson. Mais il faut savoir qu'il existe autant de déclinaisons qu'il existe de professionnels.

La filière paille profite de l'augmentation de l'utilisation du **bois** dans la construction car elle est souvent associée comme isolant à l'ossature bois. La largeur de la botte de 47cm correspond bien à l'espacement entre 2 montants d'une ossature bois. La **préfabrication** en atelier des caissons isolés en paille permet de réduire les coûts de production en optimisant les processus (CEE, 2015). Elle a également pour conséquence la réduction des risques de malfaçon dus à la pluie et l'humidité dont souffrent certains chantiers. La ressource est largement disponible dans le Grand Ouest parce qu'il a été estimé que 10% de la production annuelle française permettrait d'isoler 100% des constructions neuves. L'étude faite par Chloé Houdus sur la ressource paille indiquait qu'avec le million d'hectares qui était cultivé dans la région, on pouvait isoler 350 000 maisons. En 2018, ce sont environ 35 000 maisons individuelles qui ont été construites en Bretagne (14 158), en Pays de la Loire (12 000) et en Normandie (9 442) selon les DREAL, ce qui confirme le fait qu'on puisse isoler toutes les maisons individuelles de ces régions. Il est bien sûr important de noter que l'utilisation de la paille dans la construction ne doit pas concurrencer ses autres usages.

Selon Julie Laurin de BotMobil, « la filière paille est prête ». Les professionnels de la filière ne pratiquent pas assez la construction en paille alors que beaucoup d'entre eux sont formés. La raison à cela est un manque de projets.

Chanvre

Historique

Alors que la culture du chanvre représentait 176 000 ha en 1860 en France, il ne se faisait que 700ha en 1960 ! La baisse des volumes s'explique par l'arrivée des matériaux synthétiques après la Seconde Guerre Mondiale. Le nylon se substituera au chanvre et les polymères synthétiques issus du pétrole commenceront à remplir notre quotidien. L'origine de son déclin vient également de sa teneur en psychotrope, provoquant son interdiction dans les années 30. C'est en 1986 qu'une première maison est rénovée en utilisant un « béton de chanvre ». Et en 1989 a lieu la première présentation du béton de chanvre à Batimat, salon des professionnels de la construction. S'en suivra des essais multiples (Collet, 2004) et des échanges entre les différents acteurs du bâtiment. Aujourd'hui, de nombreuses recherches sont encore faites pour caractériser les propriétés physiques du chanvre (Reuge, Moissette, & Bart, 2019) (Seng, Lorente, & Magniont, 2017).

Utilisation et technique

Le chanvre offre une diversité d'applications dans le bâtiment :

- Réalisation de murs à isolation répartie (bétons de chanvre à appliquer ou éléments préfabriqués en béton de chanvre)
- Doublage des murs, isolation des murs et des toitures (laines de chanvre, chènevotte en vrac ou enduits de chanvre)
- Réalisation de dalles isolantes pour les sols (bétons de chanvre)

Le chanvre peut ainsi s'utiliser pour des travaux neufs ou de rénovation d'habitats individuels ou collectifs, de bâtiments tertiaires ou industriels. Attention cependant, les bétons et mortiers de chanvre nécessitent un temps de séchage plus long qu'un béton ou un mortier « conventionnel ». Enfin ce ne sont pas des bétons porteurs, ils doivent donc être associés avec une structure en construction.

Avantages

- Bonne régulation de l'humidité
- Bonnes performances thermique et acoustique
- Contribution au confort d'été
- Bonne stabilité au feu du béton de chanvre
- Les constructions et rénovations en béton de chanvre sont facilement assurables, car couvertes par des règles professionnelles
- La laine de chanvre est naturellement résistante aux insectes
- Culture locale qui nécessite peu d'engrais et peu d'eau, et capte beaucoup de CO₂ (1 ha de chanvre capte 15 t de CO₂, soit autant qu'1 ha de forêt, contre 2,2 t pour 1 ha de maïs)

Inconvénients

- Temps de séchage du béton de chanvre projeté assez long (filière humide)
- La laine de chanvre peut contenir des retardateurs de feu (sel de bore parfois décrié)

Acteurs

Depuis sa création en 1998, l'association **Construire en Chanvre** (aussi appelée CenC) agit pour sécuriser l'acte de construire en chanvre. Elle s'appuie alors sur 4 leviers : la création d'ouvrages de référence, des formations, le label « granulats chanvre pour le bâtiment » et l'évolution du cadre réglementaire. 120 entités y sont adhérentes dont tous les industriels du liant, des professionnels du bâtiment (architectes, laboratoires, artisans, bureaux d'études) ou encore des agriculteurs chanvriers.

L'interprofession **Interchanvre**, qui regroupe les producteurs et les industriels de la première transformation, répertorie 6 chanvrières alimentées par plus de 1 400 producteurs, ainsi que d'autres regroupements de producteurs référencés : « **Chanvrier en circuits courts** ». La Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre (**FNPC**), créée en 1932, regroupe l'ensemble des syndicats des Producteurs de Chanvre. Elle défend les intérêts des agriculteurs chanvriers en France.



Figure 16 : Représentation non exhaustive des acteurs de la filière chanvre sur le territoire

Réglementation et normes

Il existe des Règles Professionnelles (de 2007 puis secondes versions en 2012) pour la construction en mortier ou béton de chanvre (or blocs préfabriqués) et une FDES. Depuis 2019, les bâtiments en R+7 et les ERP de 3e catégorie peuvent être construits en béton de chanvre. Des DTU devrait voir le jour pour renforcer l'arsenal réglementaire.

Les produits dérivés du chanvre tels que la chènevotte et les laines possèdent tous un marquage C.E., un étiquetage sanitaire et des FDES sur les émissions de COV notamment. Ces documents sont obligatoires et répondent au contexte réglementaire français. Ensuite, différentes normes encadrent la construction chanvre. Seules des normes d'essais existent sur les matériaux à base de chanvre, et certains isolants en vrac, laine en vrac, entrent dans la norme 15101 sur les produits d'isolation destinés au bâtiment. Quelques industriels ont obtenu la certification ACERMI pour leurs laines isolantes. Cette certification garantit les performances thermiques de leurs matériaux. Cependant cette procédure est longue et compliquée

Dynamique locale et nationale :

Une Ecole Nationale du Chanvre à Mende en Lozère propose des formations courtes (certaines certifiantes) et une plus longue de 3 mois pour devenir « Opérateur Pro Chanvre ». En France, l'association Construire en Chanvre a formé plus de 1000 personnes qui sont formées à la construction en chanvre. Aujourd'hui, la France est le premier producteur en Europe, avec une production annuelle de 8 000 à 10 000 ha.

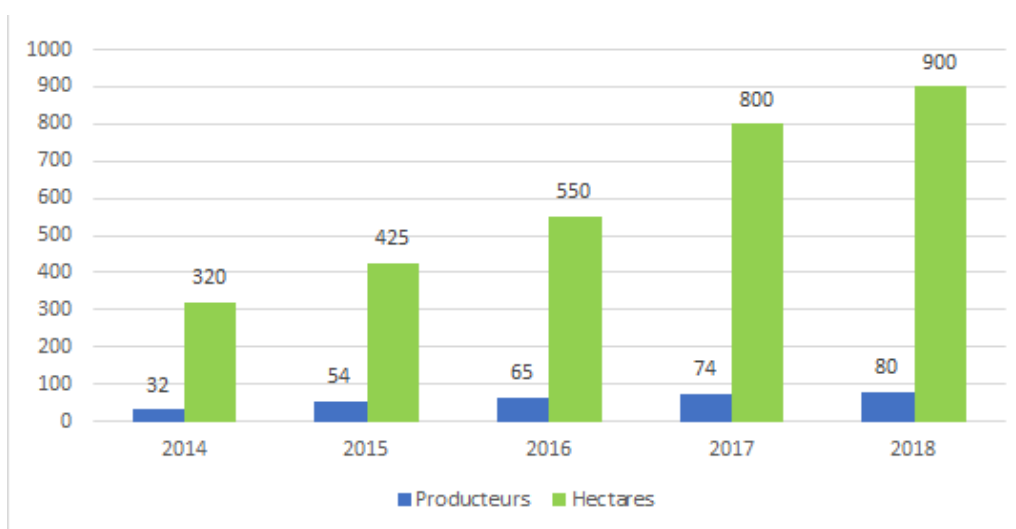


Figure 17 : Evolution de la superficie et du nombre de producteurs de chanvre alimentant Agrochanvre

Comme nous montre le graphique ci-dessus, montrant l'évolution de la production d'Agrochanvre (situé à Barenton dans la Manche), tout comme celui-ci-dessous sur les hectares cultivés en France, l'offre ne cesse de croître d'année en année. Cependant, alors que la France était précurseur pour l'utilisation du chanvre dans la construction, l'Italie semble plus ambitieuse : notamment avec un projet en cours de construction en R+8 avec 61 logements.

En Europe, les pays autres que la France qui utilisent les dérivés du chanvre dans le secteur de la construction sont la Belgique, l'Allemagne et l'Italie. La France étant le premier pays à avoir émis des systèmes de réglementation, ces pays ont développé les leurs sur les modèles déjà existants, notamment

sur les normes relatives aux granulats. L'Italie et l'Allemagne importent la plupart de leur chènevotte directement depuis la France.

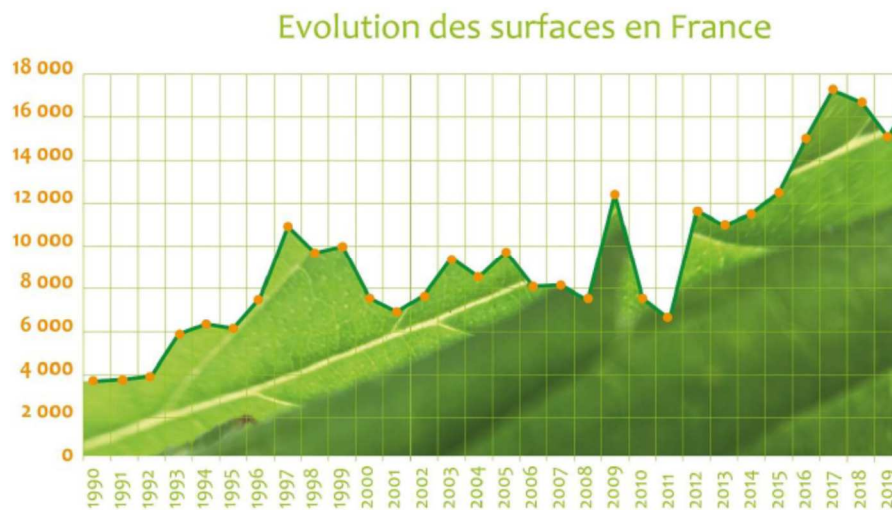


Figure 18: Evolution des surfaces cultivées en France - Source : Interchanvre

Point à chaux :

La chaux, souvent utilisée avec le chanvre comme isolant, est un liant issu de la cuisson du calcaire, la calcination, à très haute température : environ 900 °C. Elle peut être utilisée en peinture, en enduit ou comme mortier en maçonnerie.

La chaux **aérienne** est une chaux grasse riche en carbonate de calcium, obtenue après trempage à partir d'un calcaire de base relativement pur. La prise à l'air se fait ainsi par carbonatation, c'est-à-dire par l'absorption du CO₂ contenu dans l'air ambiant. Son temps de prise est plutôt long. Elle est donc souvent utilisée comme décoration à l'intérieur en y ajoutant des pigments.

La chaux **hydraulique** dite NHL (Liant Naturel Hydraulique) dispose d'une dureté supérieure à la chaux aérienne, suite au trempage de la chaux vive à partir d'un calcaire de base impur – comme l'argile. Sa prise est réalisée au contact de l'eau puis l'air. Son temps de prise est rapide. Et elle peut avoir des duretés différentes : NHL 2 de dureté faible, NHL 3,5 moyenne et NHL 5 forte. Certains ajouts (plastifiant, ciment, caséine) complètent le mélange pour lui conférer diverses propriétés.

Avec les 5 000 tonnes de chènevotte labellisée CenC utilisées par an, c'est l'équivalent de 1 000 maisons de 100 m² en construction ou 5 à 10 fois plus en rénovation !

Captation de la valeur

Selon les auteurs du projet de recherche Bioeconomics (Interchanvre, 2019), la matière première agricole représente 15% du coût de fabrication, et l'étape de première transformation du chanvre 11%. Le prix du liant représente un poste non négligeable (20% du coût final), de même que l'ossature porteuse en bois (25%). La main d'œuvre représente quant à elle 29% du prix total. À travers cette répartition du prix d'une

isolation en chaux-chanvre, on se rend compte du rôle que peuvent jouer les chauliers ou la filière bois dans le développement du chanvre.

Le surcoût du principe constructif du béton de chanvre, pour du logement, en rapport au « bas de gamme » conventionnel, à prestations égales sur les autres lots, est inférieur à 5%. Sachant que l'isolant représente en moyenne 2% du prix d'une construction neuve, la répercussion sur le prix final n'est pas bien grande.

Perspectives pour la filière :

Aujourd'hui l'offre est supérieure à la demande, si bien que le potentiel déjà présent dans les cultures françaises est suffisant pour fournir chènevotte et fibre à un marché qui pourrait être plus important. Il n'y a pas a priori de nécessité d'augmenter la production, la concurrence se fait déjà naturellement sur le terrain. Se confrontent déjà les marchés locaux et nationaux sur l'exportation puis la vente dans les régions de France.

Selon les architectes, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, il est difficile de trouver du personnel qualifié pour mettre en œuvre le matériau et de s'approvisionner en matières premières.

Utilisation des produits issus du chanvre			
Fibre	Chènevotte	Graines	Poussières
55% dans la papeterie 25% dans l'isolation 20% dans la plasturgie => 17 000 t en France -> environ 3t/ha	85% pour le paillage 15% pour la construction => 50 000 t en France dont 5 000 t labelisée CenC -> environ 5t/ha	53% en oisellerie 28% en appât pour poisson 15% en alimentation humaine (huile...) 1% en cosmétique 3% autres marché => 5 000 t en France -> environ 1t/ha	Sous-produits du chanvre Valorisation diverse (énergie) -> environ 1 t/ha

Ouate de cellulose

La ouate de cellulose est avec les isolants en bois aujourd'hui l'isolant biosourcé le plus courant. Elle conjugue les avantages de l'efficacité thermique d'hiver et d'été à de bonnes performances acoustiques, hygrométriques et à un bon comportement au feu et ce pour un faible coût au mètre carré. Son mode de mise en œuvre – par soufflage dans des combles perdus ou par insufflation à l'intérieur de coffrages grâce à une cardeuse-souffleuse munie d'un long tuyau - crée une barrière continue étanche à l'air, éliminant les ponts thermiques. L'ensemble des parois à isoler d'un chantier (murs, cloisons ou planchers) peut être traité avec ce même produit, en modulant la densité en fonction du domaine d'application.

Sur notre territoire d'étude, il existe deux centres de récolte et transformation du papier journal. Cellaouate est situé dans le Finistère et collecte des journaux et papiers dans un périmètre local, notamment grâce au relais des associations de parents d'élèves. L'entreprise travaille en partie pour le compte d'Isocell, entreprise autrichienne. Et son concurrent Igloo France Cellulose, situé en Vendée, est né de la collaboration entre une équipe canadienne et une équipe française. Leur approvisionnement en matière première se fait sur un territoire plus diffus et plus large, pouvant même aller jusqu'en Allemagne.

Ces 2 entreprises sont membres de l'association européenne des fabricant de ouate de cellulose ECIMA. Cette association au fort pouvoir politique s'assure tout particulièrement à ce que la mise sur le marché de produits d'isolation en ouate de cellulose soit conforme aux DTU en vigueur, ou à défaut bénéficiant d'un Avis Technique favorable du CSTB. Elle s'assure également que les industriels de la ouate de cellulose respectent la réglementation concernant l'étiquetage des produits, l'information des consommateurs et la formation des utilisateurs. Le dernier point de son champ d'intervention concerne la résistance au feu, facteur clé de la mise sur le marché des isolants.

Le textile recyclé

Même s'il existe plusieurs producteurs d'isolant à base de coton recyclé, c'est bien le Métisse® produit par Le Relais qui se partage l'ensemble des parts de marché. L'isolant est produit avec les vieux jeans collectés par l'entreprise d'insertion sociale. La ressource est bien présente quand on sait les ventes de vêtements (et à l'autre bout de la chaîne leur collecte en fin de vie) sont en progression constantes. Les isolants Métisse bénéficie aujourd'hui d'une certification ACERMI et d'un PV feu pour la plupart. Son coût un peu plus élevé que les autres isolants biosourcés est encore un frein à son développement.

Lin

La filière lin est très peu structurée. Alors qu'on associe souvent l'utilisation du lin à celle du chanvre, on trouve très peu d'entreprises valorisant cette plante ligneuse. Seule la coopérative CAVAC Biomatériaux

utilise cette matière première organique pour fabriquer un isolant performant : le Biofib'. L'anas de lin, équivalent de la chènevotte pour le chanvre peut également être utilisé en le couplant à de la chaux. Les ressources en matières premières sont pourtant bien présentes sur notre territoire parce que la Normandie est avec les Hauts de France la première région productrice de lin textile en Europe. La Bretagne dispose elle aussi d'une ressource inexploitée puisque près de 700 hectares de lin oléagineux sont cultivés chaque année or ce lin est cultivé pour ses graines et la fibre n'est pas utilisée. Elle pourrait être valorisée. Ecobatys a porté un projet de recherche autour de son utilisation avec de la terre crue : le « Linterre® ». L'ESITC de Caen a elle aussi porté un projet de valorisation du lin dans un matériau composite avec du ciment : le « BTONLIN ».

Autres matériaux

La laine de mouton, le roseau, l'herbe, les algues ou le miscanthus sont également des matériaux biosourcés pouvant être utilisés dans la construction. Il existe plusieurs entreprises sur le territoire (Algo, Baho et Circouleur) qui valorisent les algues pour en faire de la peinture. Le dernier document édité par le RBBB concerne leur utilisation. L'herbe (des bords de route principalement) peut également être valorisée pour faire de l'isolant, c'est ce que propose l'usine belge Gramitherm. Une unité de production devrait voir le jour en Ille-Et-Vilaine. Le développement de ce nouveau matériau est donc à surveiller de près. La laine de mouton représente également un potentiel de développement fort puisque la laine est actuellement considérée comme un déchet. Les isolants en laine de mouton bénéficient pourtant d'une bonne image mais leur transformation soulève des problématiques fortes (eaux usées, traitement antimite, traitement antifeu). Enfin, le roseau, utilisé depuis des siècles par pour les couvertures en chaume pourrait peut-être faire son grand retour dans la construction. L'entreprise morbihannaise Rhizome a à une époque valorisée ce matériau et le Parc Naturel du Cotentin et du Bessin s'intéresse également de près à sa valorisation dans le bâtiment.



Figure 19 : Photo d'une maison couverte en roseau à Saint-Nolff (Morbihan)

1.4. Conclusion

Dans une publication intitulée « *Why sustainable construction ? Why not? An owner's perspective* » (Gan, Zuo, Ye, Skitmore, & Xiong, 2015), les auteurs pointaient deux éléments primordiaux :

- *“Economic feasibility, awareness, legislation and regulation are main barriers to sustainable construction.”*
- *“The government plays a critical role in prompting owners to adopt sustainable construction.”*

Au vu du portrait dressé au cours de ce chapitre, ces 4 principales barrières sont toujours présentes aujourd’hui. Le rôle du gouvernement quant à lui s’exerce lors de la rédaction des réglementations thermiques et des actions qu’il prend pour soutenir ou non l’émergence et la consolidation de certaines filières. Rappelons par exemple qu’il a financé beaucoup d’essais en laboratoire pour le chanvre et qu’il aide actuellement la terre crue pour la rédaction de ses FDES et pour l’élaboration de programme de recherche autour de la caractérisation des propriétés de la terre.

Le graphique 20 récapitule certains éléments concernant chacune des filières et donne dans sa dernière colonne le niveau de structuration des filières au vu des différents points abordés précédemment. Le niveau 3 représente la filière la plus structurée.

Ecomatériaux	Disponibilité de la ressource	Réglementation	FDES	Niveau de structuration
Bois	Des boisements en croissance	Eurocode, DTU, ACERMI	300 référencements différents et un configurateur	3
Terre	Ressource actuellement considérée comme un déchet	Guides de Bonnes pratiques	FDES en cours d’élaboration	1
Paille	10% de la ressource française suffirait	Règles Pro	4 FDES en cours d’élaboration	2
Chanvre	Une culture en progression	Règles Pro et ACERMI	FDES pour la laine et	2
Ouate de cellulose	Dépendant de la presse papier Possibilité d’utiliser de la ressource	ACERMI et DTU correspondants	12 FDES et 2 DED	3
Coton recyclé	En progression constante	ACERMI et DTU correspondants	2 FDES et 4 DED	1
Lin	Possibilité d’utiliser les coproduits du lin oléagineux	/	2 DED	0
Laine de mouton	Ressource actuellement considérée comme un déchet	/	6 DED	0
Roseau	Ressource disponible et non exploitée	/	/	0
Miscanthus	En progression	/	/	0
Herbe	Ressource actuellement non valorisée (bord des routes)	/	/	0
Algues	Ressource disponible et non exploitée	NA	1 FDES	1

Figure 20 : tableau récapitulatif des différents niveau de structuration des filières

Nous retrouvons le classement (constitué par mes soins) dans la figure 22.

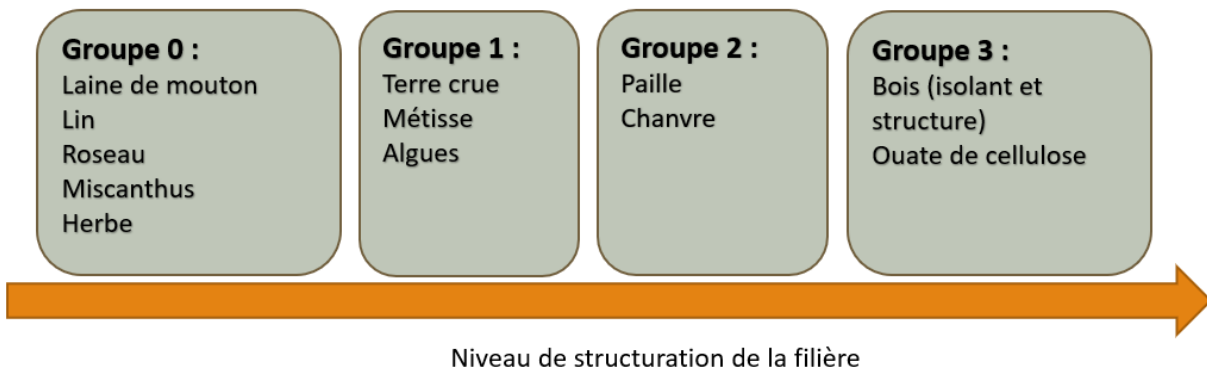


Figure 21 : Représentation des différentes filières par niveau de structuration

Cette classification est celle qui peut être faite pour notre région d'étude en 2021. Si nous avions du représenter ces filières il y a 10 ans, elles seraient tous un cran en dessous. Un long chemin a été parcouru et l'avenir s'annonce prometteur pour leur développement.

Partie 2 : l'ACV au service de l'écoconstruction ?

On sait aujourd'hui que les écomatériaux possèdent de nombreux avantages (thermique, écologique, social) et qu'ils peuvent être complémentaires entre eux puisque qu'ils peuvent avoir une fonction isolante, décorative ou structurelle. Cependant, j'ai voulu comparer des systèmes constructifs conventionnelles à des systèmes utilisés en écoconstruction afin de connaître la véracité de leur côté « écologique » avec des données, sur la base de données normées. Le greenwashing ou écoblanchiment est de nos jours présent dans tous les milieux et le secteur du bâtiment en abuse également (Magalhaes, 2019). De plus, Chloé Houdus qui avait effectué son stage de fin d'études à Ecobatys en 2017, avait réalisé une étude comparative de différents isolants sur leurs caractéristiques techniques et leurs impacts environnementaux. En lisant son rapport, il m'est apparu intéressant de faire des ACV sur les systèmes constructifs dans leur ensemble plutôt que sur les isolants seulement. L'INIES indique qu'il est même préférable de réaliser des ACV sur le bâtiment dans son ensemble mais la pluralité des choix constructifs rendrait impossible toute comparaison.

2.2. Présentation de l'ACV

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit ou d'un procédé sur l'ensemble de son cycle de vie. C'est un processus itératif composé de plusieurs étapes : la définition des objectifs, la définition du champ de l'étude, l'analyse de l'inventaire, l'évaluation des impacts et leur interprétation (Pannier, 2017). Les émissions et extractions de substances sont comptabilisées du « berceau à la tombe » (cradle to grave en anglais), c'est-à-dire de l'extraction des ressources au traitement en fin de vie et en passant par l'utilisation du système. Les effets de ces procédés sont ensuite évalués au moyen d'indicateurs environnementaux. En France, c'est sur les FDES (selon la norme NF EN 15804) ou les PEP-écopasseport que l'on trouve ces différentes données.

Les ACV vont être le carburant de la prochaine réglementation environnementale, la RE2020, puisque celle-ci va prendre en compte, en plus des performances énergétiques du bâtiment, une partie de ses performances environnementales. Lorsque l'on parle de performance énergétique, il faut comprendre la consommation d'énergie primaire du bâtiment en fonction de sa superficie et ramenée à une année. On l'exprime en kWh_{EP}/m².an. Quant à la performance environnementale, c'est le seul critère du potentiel de réchauffement climatique que la réglementation prendra en compte, à travers les émissions de gaz à effet de serre. Il s'exprime en kilogramme d'équivalent de CO₂ par mètre carré et par an (kg_{éqCO2}/m².an). Il constituera donc l'élément phare de notre analyse.

Pour la prochaine RE, une approche dynamique simplifiée devrait être utilisée afin d'intégrer le facteur temps dans l'évaluation des impacts environnementaux. En effet, avec une analyse « statique », on considère que la consommation des ressources ou les émissions de polluant ont lieu en même moment. Or, les matériaux biosourcés vont séquestrer du CO₂ atmosphérique par photosynthèse lors de leur croissance et ce jusqu'à sa fin de vie. Donc sur la durée de vie du bâtiment, ce CO₂ capté n'est pas dans l'air et ne contribue pas au réchauffement climatique, comme un arbre dans une forêt. A l'opposé, les produits pétrosourcés n'ont pas ce rôle de puit de pétrole. Les émissions de GES proviennent de leur fabrication et de leur fin de vie à part entière. L'ACV dynamique est plus en phase avec les réalités physiques des phénomènes du cycle du carbone. Ça prise en compte nécessiterait une reformulation des FDES et donc un gros travail de la part des déclarants. C'est pourquoi c'est une approche dynamique « simplifiée », basée sur des coefficients de pondération qui va être utilisée dans la prochaine RE2020.

2.3. Utilisation du logiciel



COCON BIM est un logiciel d'ACV et d'évaluation de la performance énergétique des matériaux et des bâtiments. Il permet également de réaliser une maquette numérique du bâtiment (BIM). Le logiciel a

été développé par Luc Floissac, docteur en géographie et aménagement et auteur de nombreuses références sur l'écoconstruction. Il est enseignant chercheur à l'école d'architecture de Toulouse. Le label E+C- reconnaît bien l'utilisation de COCON BIM pour l'évaluation environnementale des bâtiments (cf. Annexe 9).

Seule la version démo a pu être utilisée lors de mon étude, m'interdisant l'accès à certaines fonctionnalités mais suffisant pour calculer les impacts de différents systèmes constructifs. Pour information, la licence coûte 700€HT la première année, puis le renouvellement de la licence est de 350€HT les années suivantes.

2.4. Méthodologie

2.4.1. Les différents critères retenus

Il existe en soit une multitude d'indicateurs environnementaux. Les fiches FDES, définies au premier chapitre, comprennent 9 critères sur les impacts environnementaux, 10 sur les consommations en ressources, 3 sur les déchets et 4 sur les flux sortants.

Le logiciel COCON BIM présente cependant une lacune puisqu'il ne permet pas de calculer le critère « Epuisement des ressources abiotiques - non fossiles » données en équivalent d'antimoine (Sb), correspondant à l'utilisation de ressources non renouvelables comme l'argile, le calcaire, l'or ou le cuivre. Le développeur du logiciel a été prévenu et cette donnée sera affichée sur la prochaine version.

Afin de rendre plus lisible les résultats de l'ACV, nous allons examiner uniquement certains de ces critères, représentés dans le tableau ci-dessous.

Critères	Sigle	Unités
Potentiel de réchauffement climatique	GWP	kg CO2 eq.
Potentiel de réchauffement climatique dynamique*	GWPD	kg CO2 eq.
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique	ODP	kg CFC-11 eq.
Formation d'ozone photochimique	POCP	kg C2H4 eq.
Pollution de l'air	AIP	dam ³
Pollution de l'eau	WAP	m ³
Potentiel d'acidification du sol et de l'eau	AP	kg SO2 eq.
Potentiel d'eutrophisation	EP	kg (PO4)3 eq.
Indicateur d'épuisement des ressources fossiles	ADPF	MJ
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable	PERT	MJ
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	PENRT	MJ
Utilisation totale d'énergie primaire **	PE	MJ
Utilisation nette d'eau douce	WAC	m ³
Déchets dangereux éliminés	HWD	kg
Déchets non dangereux éliminés	NHWD	kg

* Cet indicateur est issu d'un calcul du logiciel. Il n'est pas donné dans les FDES.

** Cet indicateur est la somme de PERT et PENRT. Il n'est pas directement donné dans les FDES.

2.4.2. Calcul des impacts environnementaux

Les logiciels d'ACV ne sont que des compilateurs de données. Les résultats fournis par COCON BIM auraient pu être déterminés à l'aide d'un tableur Excel en utilisant la méthode de calcul explicitée ci-dessous.

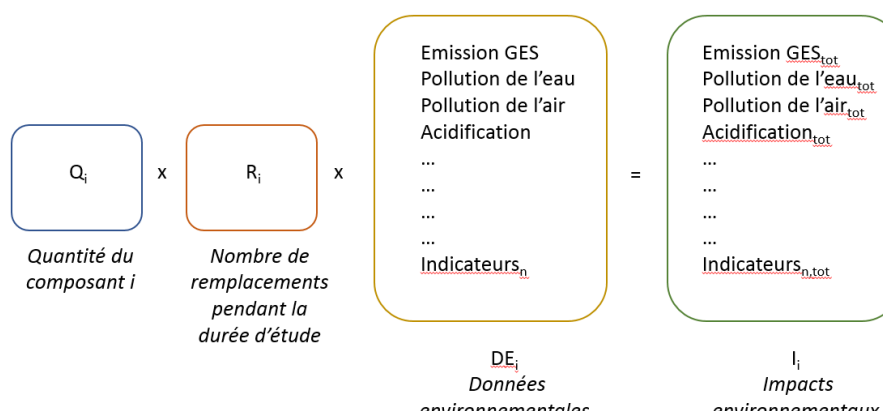


Figure 22 : Calcul de l'impact environnemental à partir des données des FDES

2.4.3. L'importance de la durée d'étude

L'exemple présenté dans le tableau 1 ci-dessous et issu du site de l'INIES (www.inies.fr) montre que la durée de vie utilisée pour la comparaison ne doit pas être prise au hasard, puisqu'elle influe sur le résultat de la comparaison. Il convient de renseigner la durée de vie de chacun des produits constituant le système constructif (égale ou non à la durée de vie indiquée dans les déclarations environnementales), ainsi que la durée sur laquelle la comparaison est effectuée.

	Valeur de l'indicateur	DVT	Valeur de l'indicateur annualisée	Valeur de l'indicateur pour une comparaison sur 20 ans	Valeur de l'indicateur pour une comparaison sur 50 ans
Produit A	3.5	20	0.175	3.5	10.5
Produit B	4	25	0.16	4	8
Comparaison :			B semble moins impactant que A	A semble moins impactant que B	B semble moins impactant que A

Tableau 1 : Influence de la durée de vie sur l'impact environnemental calculé

Sachant que plus l'indicateur est élevé, plus impactant est le produit, il apparaît que pour une durée d'étude de 50 ans, c'est le produit A qui est le plus impactant. Or si on regarde sur 20 ans, c'est le produit B qui est le plus impactant...

2.4.4. Le choix primordial des FDES

Comme nous l'avons vu dans la première partie, 3 sortes de FDES et PEP Ecopasseport colorent la base INIES. Et si les informations pour les déclarations collectives et individuelles sont relativement représentatives, ce n'est pas le cas des fiches par défaut.

Pour illustrer ceci, on peut prendre l'exemple de la paille utilisée comme isolant en remplissage. Pour une même épaisseur et donc pour une même résistance thermique mais avec 2 FDES différentes (une par défaut et une collective du RFCP), on trouve des résultats nettement différents. Ces différences sont normales puisque les fiches par défaut se basent sur des données similaires et y ajoute des coefficients de majoration. La figure 23 présente à l'aide d'un diagramme radar les différences entre celles-ci. Attention, ce diagramme est issu de l'étude comparative de 5 isolants (laine de verre, polystyrène expansé, paille avec FDES par défaut et collective, laine de chanvre/lin/coton), c'est pourquoi certains critères n'atteignent pas les 100%. A noter que la DED favorisent le stockage de carbone puisque la valeur du potentiel de réchauffement climatique est de -5.13 kg de CO₂ équivalent pour la FDES par défaut et de -3,46 kg de CO₂ équivalent pour la FDES collective du RFCP. Si l'on considère que ce paramètre, il serait préférable d'utiliser la fiche par défaut...

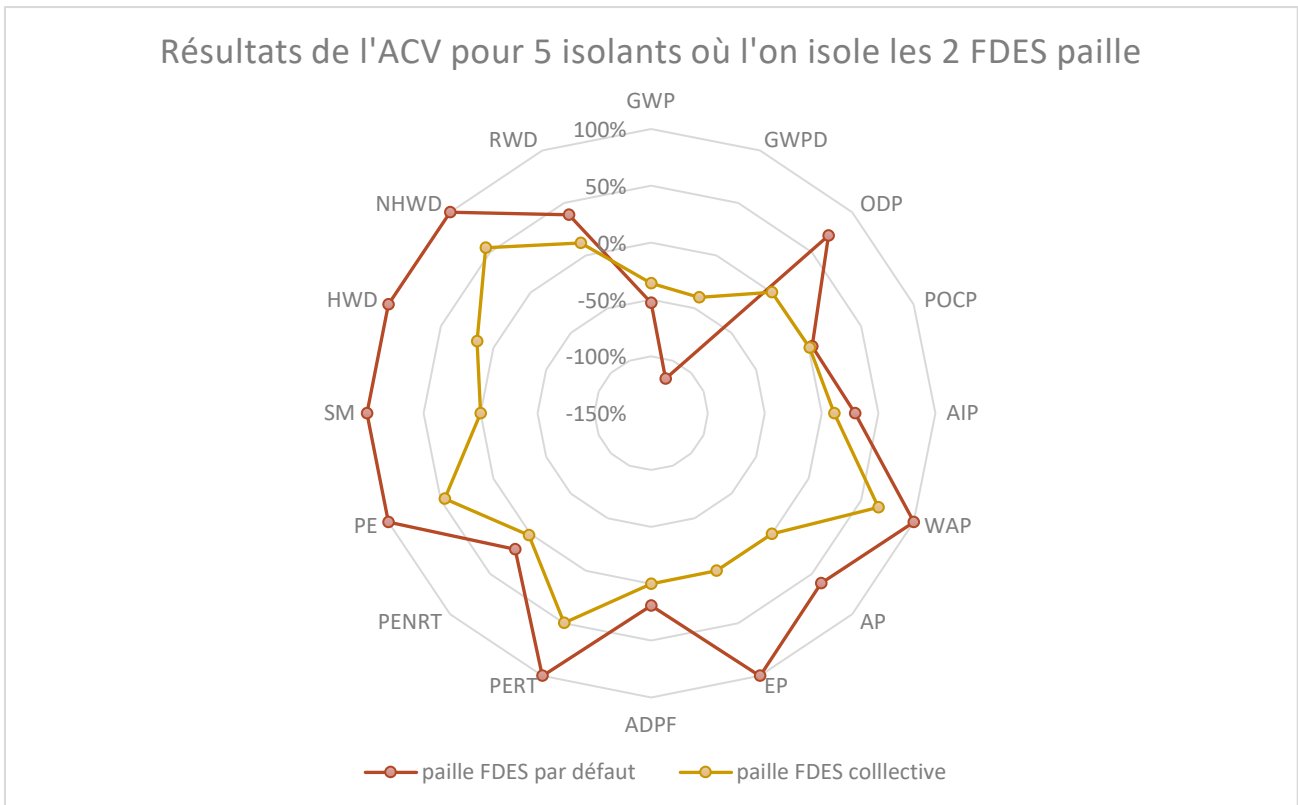


Figure 23 : Diagramme radar présentant les 2 FDES paille (extrait d'une analyse de 5 FDES d'isolant)

De la même façon, il est difficile aujourd’hui de trouver des données environnementales sur les enduits en terre, c’est pourquoi le Ministère a déclaré plusieurs MDGED. Il a été choisi d’y indiquer différentes distances de transport de la terre puisque d’après une étude de *Environmental impacts of natural and conventional building materials : a case study on earth plasters*, (Melia, Ruggieri, Sabbadini, & Dotelli, 2014), le paramètre le plus impactant pour l’émission des GES dans l’utilisation de la terre est le transport (et l’adjuvant si elle est stabilisée). En reprenant les différentes FDES disponibles sur COCON BIM (4 DED et 2 FDES individuelles), le graphique 24 permet d’éclairer ces résultats et l’importance du choix des FDES.

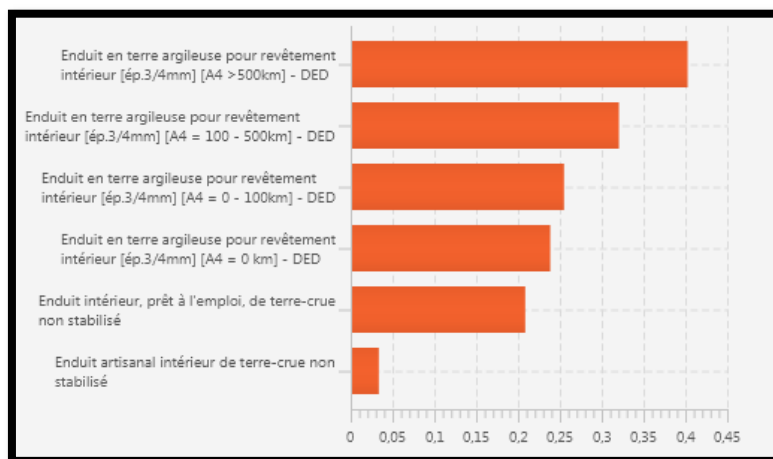


Figure 24 : Différents impacts carbone d'enduit en terre en fonction des FDES choisies

Pour 1m² d'enduit intérieur d'épaisseur 1mm (ce n'est pas réaliste mais les déclarations sont faites ainsi et considèrent qu'il suffit de multiplier par l'épaisseur pour avoir l'impact environnemental correspondant), l'impact carbone est de 0.04 kg équivalent CO₂ pour l'enduit artisanal et 5 fois plus élevé pour un enduit prêt à l'emploi. Pour la DED avec un transport de la terre nul, on a un impact donné 6 fois supérieur à la FDES enduit « artisanal » faite par le CEREMA (Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement).

2.4.5. Choix des systèmes constructifs

Il a été choisi d'étudier les murs comme système constructif puisqu'ils font partie du lot structure et superstructure et ce sont les lots les plus impactants du point de vue de l'empreinte carbone. En effet, selon l'association BBCA, la part du gros œuvre représente environ 44% de l'empreinte carbone d'une construction neuve. En annexe 11, nous pouvons voir l'exemple de la répartition par lot de l'empreinte carbone d'un logement collectif neuf en Loire Atlantique construit par Pouget Construction. Ce bâtiment a reçu le niveau E2C2 du référentiel E+C-. Il apparaît clairement que les lots les plus impactants sont les superstructures et les infrastructures (notamment les fondations et le parking souterrain).

Pour comparer différents murs, il est important de définir une même unité fonctionnelle et que celle-ci soit compatible avec celle renseignée dans les FDES. Ainsi, pour les murs, nous nous intéressons à des murs porteurs extérieurs pour des maisons individuelles d'un ou deux étages. Nous réalisons nos ACV sur 1m² de mur ayant une résistance thermique de 3,7 K.m²/W pour une durée de vie de 50 ans. Le choix a été fait de prendre résistance thermique constante puisque c'est l'un des premiers critères techniques que l'on regarde lorsque l'on étudie la performance thermique d'un mur. Le déphasage, l'inertie ou encore la gestion de la vapeur d'eau des murs ne sont pas considérés comme un paramètre déterminant. Seul l'épaisseur des isolants a donc été modifiée afin d'avoir ce coefficient R. C'est pourquoi ils ne correspondent pas toujours à la réalité on ne verra pas dans une construction une botte de paille de 125mm.

Les exemples des systèmes constructifs choisis proviennent directement du logiciel COCON BIM qui possède des systèmes constructifs prédéfinis. Ils correspondent à ce que j'ai pu trouver dans la littérature (Règles ProPaille, *Construire en pisé*, NF DTU 20.1, etc.).

J'ai choisi de comparer 6 systèmes constructifs différents : 3 de type « conventionnel » et 3 que l'on peut trouver en écoconstruction. Nous avons alors, de l'extérieur à l'intérieur :

- Système 1 : Enduit organique, polystyrène expansé, parpaing creux, enduit plâtre
- Système 2 : Enduit minéral, brique de béton cellulaire, enduit plâtre

- Système 3 : Enduit minéral, brique de terre cuite, laine de verre et fourrure, brique de cloison terre cuite, enduit plâtre
- Système 4 : Bardage douglas, lame d'air et lattage, pare-pluie en fibre de bois, botte de paille et poutre en I, frein vapeur, lambris en douglas
- Système 5 : Enduit minéral, botte de paille et ossature bois, enduit terre
- Système 6 : Pisé porteur, laine de chanvre et fourrure, pare-vapeur, fermacell

Le descriptif complet de ces 6 systèmes constructifs se trouvent en annexe 12. On trouve également dans ce tableau les déclarants et le type de la FDES (individuelle, collective, ou par défaut).

2.5. Résultats

En utilisant le calcul des impacts environnementaux étudiés précédemment, nous obtenons les tableaux Excel présentés en annexe 10. Puis les critères définis précédemment sont conservés et mis en valeur. Nous obtenons alors le tableau suivant :

		Unité	PSE parpaing	Béton cellulaire	Brique terre cuite + LV	Paille caisson	Paille enduit	Pisé LC fermacell	
Potentiel de réchauffement climatique	GWP	kg CO2 eq.	28,0	79,5	47,3	-2,66	3,54	25,3	
Potentiel de réchauffement climatique dynamique	GWPD	kg CO2 eq.	27,9	78,6	46,5	-37,05	-4,84	19,7	
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique	ODP	kg CFC-11 eq.	2,75E-06	6,29E-06	6,79E-06	3,20E-06	3,07E-07	5,57E-06	
Formation d'ozone photochimique	POCP	kg C2H4 eq.	0,115	0,0378	0,0589	0,00785	0,00276	0,024	
Pollution de l'air	AIP	dam3	4,43	7,15	11,9	3,23	1,19	3,07	
Pollution de l'eau	WAP	m3	25,0	14,8	17,9	60,9	15,1	13,1	
Potentiel d'acidification du sol et de l'eau	AP	kg SO2 eq.	0,575	0,703	0,651	0,163	0,0503	0,155	
Potentiel d'eutrophisation	EP	kg (PO4)3 eq.	0,737	0,129	0,121	0,160	0,311	0,0316	
Indicateur d'épuisement des ressources fossiles	ADPF	MJ	541	748	648	279	99,7	509,8	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable	PERT	MJ	24,9	144	368	852	262	80,1	
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	PENRT	MJ	726	936	796	439	123	608	
Utilisation totale d'énergie primaire	PE	MJ	751	1080	1163	1291	385	688	
Utilisation nette d'eau douce	WAC	m3	0,290	0,492	0,334	0,446	0,218	0,410	
Déchets dangereux éliminés	HWD	kg	0,200	0,836	0,381	0,315	0,160	0,393	
Déchets non dangereux éliminés	NHWD	kg	85,9	183	95,1	21,9	55,9	859	

Tableau 2 : Impacts environnementaux des différents systèmes constructifs

Afin de rendre plus compréhensible l'ensemble de ces valeurs, un code couleur est appliqué. Vert pour les valeurs les moins élevées et rouge pour les plus grandes. Et pour mettre en relief les écarts entre les valeurs, des graphiques sparkline sont produits.

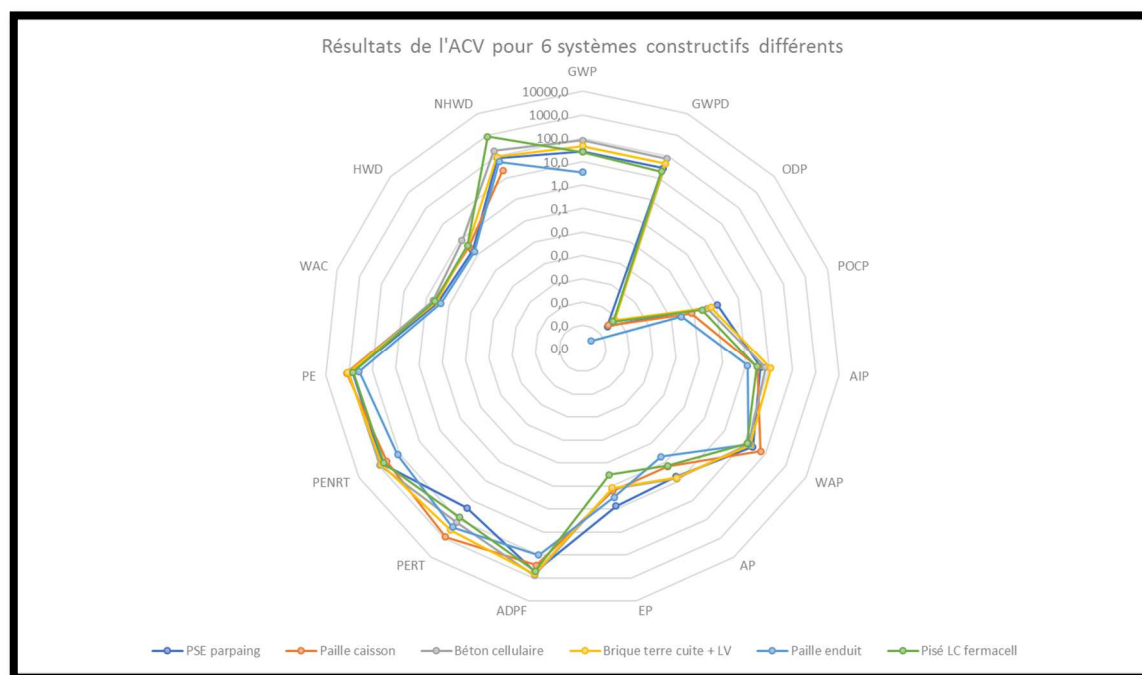


Figure 25 : Diagramme radar des impacts environnementaux des 6 systèmes constructifs

L'utilisation d'un diagramme radar permet de représenter l'ensemble de ces critères. La difficile lecture des résultats à cause de l'échelle logarithmique, du nombre de critères et du nombre de systèmes constructifs m'a poussé à passer l'ensemble de ces valeurs en pourcentage en utilisant la formule (1).

$$(1) \quad I_i(\%) = I_i \div \text{MAX}(I_1; I_2; \dots; I_i; \dots; I_n)$$

Nous obtenons alors le graphique suivant.

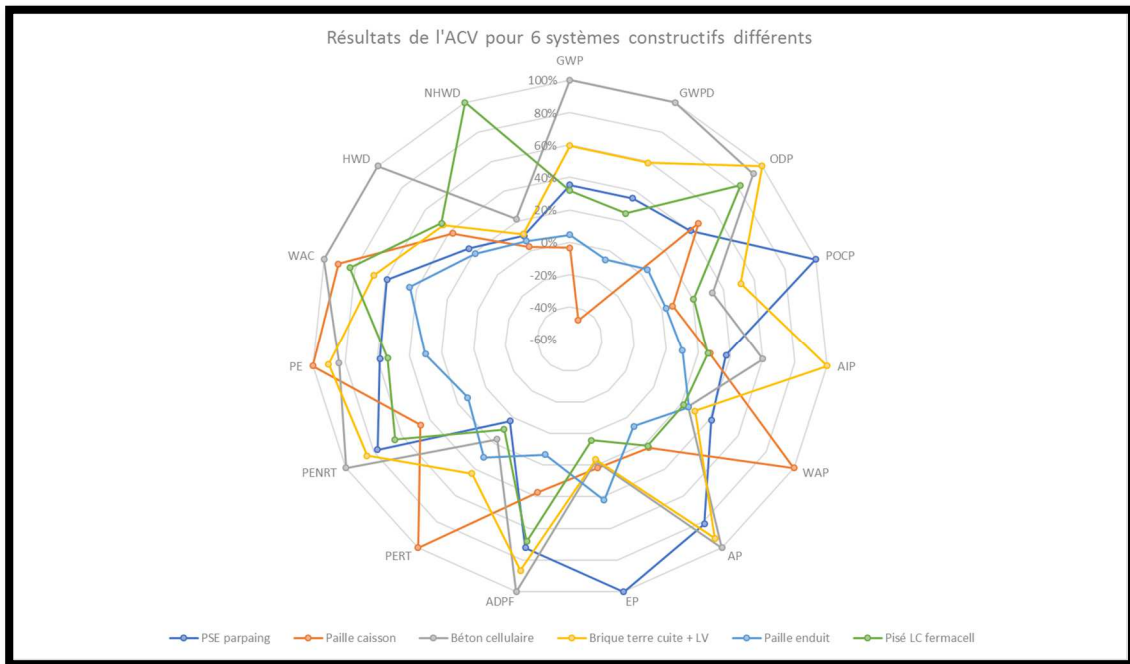


Figure 26: Résultats de l'ACV pour les 6 systèmes constructifs

Il est également possible d'isoler 2 systèmes constructifs et de recalculer les pourcentages afin de mieux visualiser ce qui les différencie.

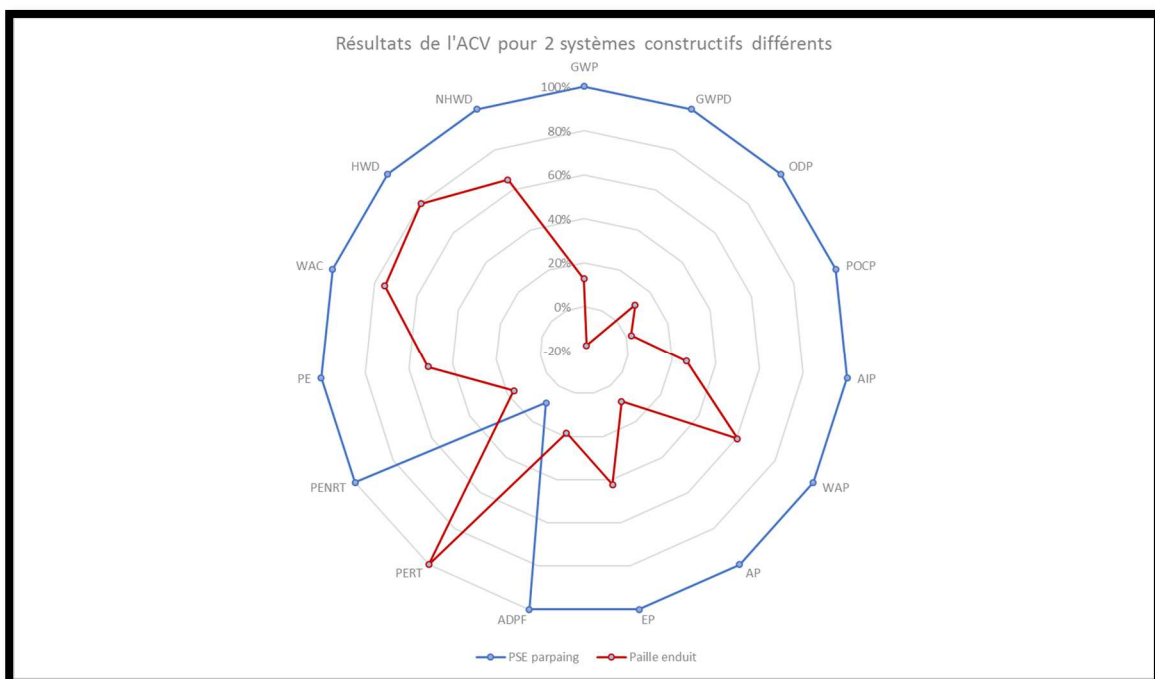


Figure 27 : Résultats de l'ACV pour 2 systèmes isolés

Dans cette étape, on interprète les résultats obtenus, afin de comprendre les multiples tableaux de chiffres et graphiques que l'on traduit en conclusion. Il est parfois nécessaire de réaliser une à plusieurs études de sensibilité pour affiner son interprétation puisque l'ACV d'un produit présente des conclusions parfois complexes et souvent relatives. En effet, la réalisation de l'ACV peut être influencée, volontairement ou pas, par les choix faits par la personne qui a réalisé l'étude et proposé les hypothèses de travail. Une présentation simple et compréhensible des résultats d'une ACV et des critères de décision n'est pas chose aisée.

A l'aide du tableau 2, nous pouvons cependant mettre en évidence le fait que les systèmes écoconçus sont globalement moins impactants que les systèmes conventionnels puisqu'ils possèdent plus de cases vertes. Le système le moins impactant en général est celui utilisant une ossature bois remplie en paille avec un enduit de chaque côté. Ces faibles impacts s'expliquent en partie par le fait d'une faible transformation des matières premières et des faibles distances de transport de ces matériaux, que ce soit entre leur lieu d'extraction et leur lieu de production ou entre les lieux de production et de mise en œuvre.

GWP – Potentiel de réchauffement climatique

Le système avec le béton cellulaire est fortement émissif de GES. Il est presque 2 fois plus émissif que le second système le plus impactant qui est celui en brique de terre et laine de verre. Pour ces 2 cas, ce sont les matériaux porteurs qui émettent plus de $\frac{3}{4}$ des GES comme nous l'indique le graphique suivant tiré du logiciel COCON BIM.

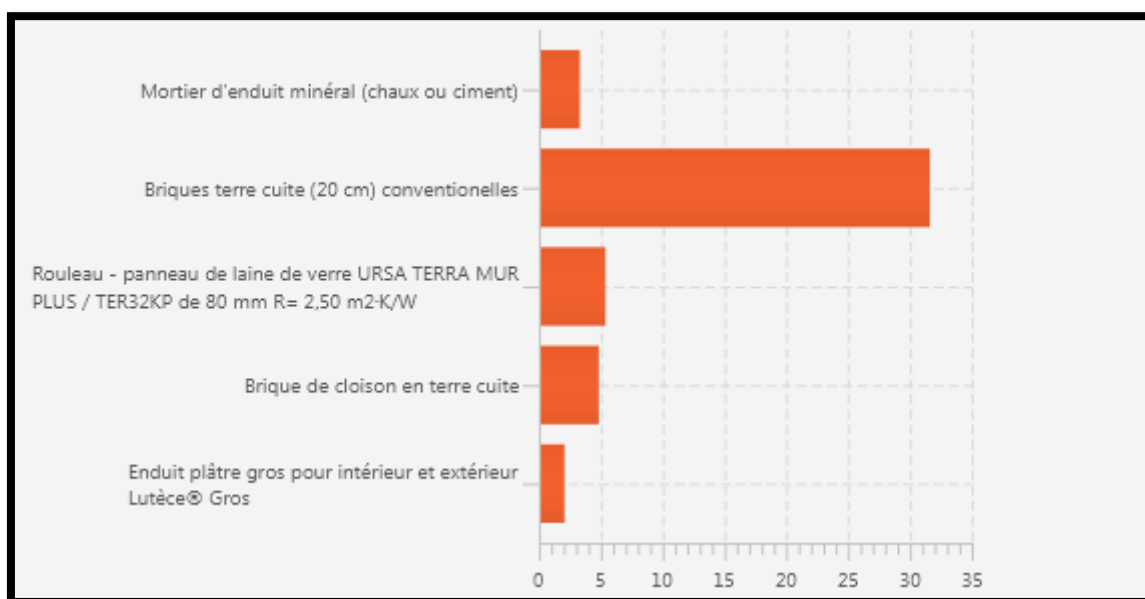


Figure 28 : Empreinte carbone des différents matériaux constituant le système 3

En regardant la FDES de la brique de béton cellulaire et de la brique de terre cuite, nous voyons que c'est l'étape de production A3 (représentant la production) des briques qui est responsable de la plus grande partie de l'empreinte carbone (82% pour le béton cellulaire et 79% pour la terre cuite).

Les systèmes possédant une part importante de matériau biosourcée sont ceux émettant le moins de GES puisqu'ils permettent un stockage temporaire de carbone biogénique. Le système de paille en caisson fait même office de puit de carbone puisqu'il capte 2,66 kg CO₂_{eq} au cours de son cycle de vie. Leur faible empreinte carbone indique bien l'engouement futur que vont recevoir ces écomatériaux avec la prochaine RE2020. A noter que les 2 bâtiments ayant reçu le meilleur niveau du label E+C-, i.e. E4C2 était construit en paille, ce qui vient en résonance avec les résultats que nous avons obtenus.

GWPD – Potentiel de réchauffement climatique dynamique

Le calcul dynamique du potentiel de réchauffement climatique expliqué au début de ce chapitre met bien en avant les systèmes constructifs à base de matériaux biosourcés et va jusqu'à multiplier par 14 le pouvoir de stockage du carbone atmosphérique du système de paille en caisson. On notera que toutes les valeurs du potentiel de réchauffement climatique calculées avec la méthode dynamique sont inférieures à celle de la méthode statique.

ODP – Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique

En ce qui concerne le potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique qui se quantifie en kg d'équivalent de trichlorofluorométhane (CFC-11), les systèmes 2, 3 et 6 ont à peu près le même impact. Seul le système 5 en paille enduite marque une nette rupture avec une production égale à seulement 5% de la plus forte valeur.

POCP Formation d'ozone photochimique

Les 3 systèmes conventionnels sont les plus émetteurs de composé organique volatile et de composé susceptible de participer à la formation d'ozone troposphérique (créant le « smog »). La part la plus importante pour le système 1 provient du polystyrène expansé. Alors que l'ozone stratosphérique nous préserve des rayons directs du Soleil, l'ozone troposphérique (dans la basse couche de l'atmosphère) est dangereux pour l'Homme car il peut causer des problèmes pour la santé humaine notamment au niveau respiratoire.

AIP - Pollution de l'air

C'est au tour de la brique de terre cuite et la laine de verre de posséder l'indice de pollution de l'air le plus élevé et ce à cause de l'étape de fabrication et de démolition de la brique de terre cuite. L'indice est 10 fois supérieur à celui du système de la paille enduite (11 900m³ contre 1 190m³). L'élément causant

une forte pollution de l'air dans le système 2 est également l'élément porteur ; la brique de béton cellulaire.

WAP – Pollution de l'eau

Sur ce critère, c'est la paille en caisson qui est le plus polluant avec presque 61 m³ d'eau polluée. La moitié de la pollution de l'eau provient des poutres en I utilisées dans l'ossature et 1/3 du bardage extérieur. Je n'explique cependant pas ces fortes valeurs. Les autres systèmes ayant des valeurs à peu près similaires autour de 20 m³.

AP - Potentiel d'acidification du sol et de l'eau

Les 3 systèmes ayant les valeurs les plus élevés sont de nouveaux les 3 systèmes conventionnels. La raison est simple. C'est le plâtre Lutèce qui est responsable à plus de 80% des émissions de dioxyde de soufre SO₂, provenant en majorité de son élimination en centre d'enfouissement.

EP - Potentiel d'eutrophisation

Cet indicateur évaluant les substances (notamment phosphates et nitrates) qui contribuent à la prolifération d'algues (vertes) et d'espèces aquatiques invasives est fortement élevé pour le système 1. Cette valeur provient comme on peut le voir sur le graphique 30 du mortier organique qui émet lors de sa fabrication beaucoup d'équivalent phosphate.

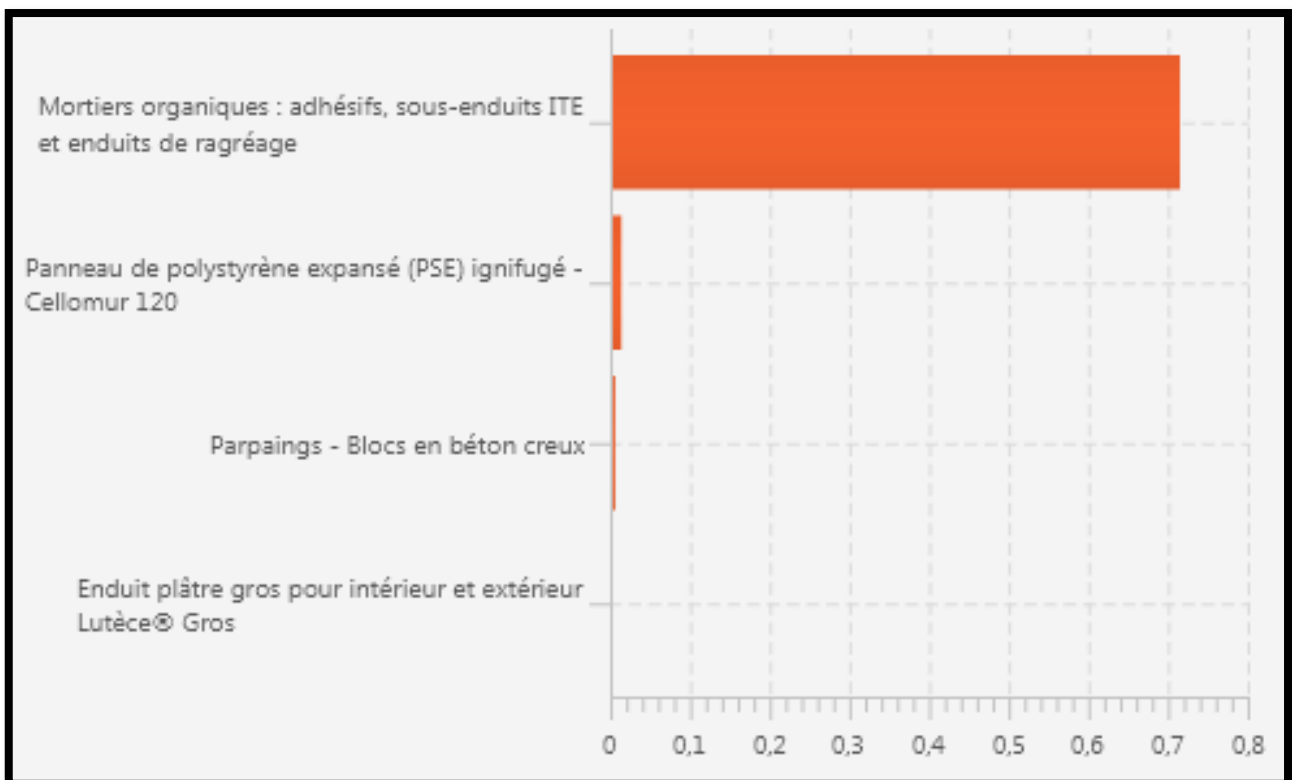


Figure 29 : Potentiel d'eutrophisation des différents matériaux composant le système 1

Les faibles valeurs d'équivalent phosphate des systèmes en paille s'expliquent par le fait que la frontière initiale du système prise en compte dans la FDES commence après la moisson de la paille. La culture du blé, émettrice de phosphate et de nitrate dans la nature lors de mauvais épandage du lisiers dans les champs, n'est donc pas prise en compte. Ces allocations sont justifiées par le fait que :

- l'itinéraire technique n'a pas pour finalité la production de paille,
- le différentiel prix grain / paille important,
- l'allocation économique difficile, le grain dépend du marché mondial, la paille de l'année climatique, d'une offre et d'une demande locale,
- la directive européenne sur les énergies renouvelables dans laquelle est décrite la méthode d'établissement des bilans GES pour les filières bioéthanol de blé, fait une allocation nulle à la paille

ADPF - Indicateur d'épuisement des ressources fossiles

Cet indicateur d'épuisement des ressources énergétiques naturelles non renouvelables (comme le gaz, le lignite, le pétrole, le charbon...) comprend une pondération en fonction de leur rareté et la vitesse de leur exploitation. Plus la ressource est considérée comme rare et exploitée, plus la valeur de l'indicateur augmente et plus le produit contribue à l'épuisement des ressources. L'ADPF est comparable au PENRT montrant l'utilisation d'énergie non renouvelable. Les systèmes les plus consommateurs correspondent aux systèmes conventionnels et à celui du pisé. La forte valeur de celui du pisé s'explique par le volume et le poids de la terre nécessaire à la construction du mur, nécessitant la consommation d'énergie fossile pour extraire la terre, la mettre en œuvre et pour la traiter en fin de vie. La forte valeur du système 1 provient majoritairement du polystyrène qui est lui-même composé de matière fossile non renouvelable. Pour les systèmes 2 et 3, ce sont les éléments porteurs (briques cellulaires ou en terre cuite) qui sont responsables de ces valeurs élevées.

PERT – Energie primaire d'origine renouvelable

Les résultats obtenus précédemment concordent avec ceux trouvés par une étude belge comparant un mur typique belge en brique et un mur en béton de chanvre à ossature bois. (Attia & Gauvreau-Lemelin, 2017). De la même façon que pour les murs en paille, l'énergie primaire renouvelable du mur en chanvre était beaucoup plus importante que celle du mur en brique. C'était le seul critère où le mur en chanvre avait une valeur plus importante que le mur traditionnel. En regardant de plus près d'où viennent ces fortes valeurs pour le PERT de la paille en caisson, on voit grâce au FDES que 75% de l'énergie primaire renouvelable est celle issue de la production de la matière, et donc de la biomasse en réalité. C'est donc

de l'énergie pouvant être récupérée par combustion contrairement à l'énergie renouvelable issue des procédés qui est celle utilisée par les machines et ne peut pas être « récupérées ».

PENRT – Energie primaire d'origine non-renouvelable

Le caractère transformé des matériaux ou le recours à des machines thermiques pour leur mise en œuvre se traduit ici par de fortes valeurs pour tous les systèmes constructifs à l'exception du système 5 qui nécessite que peu de moyens pour produire les matériaux ou les mettre en place. L'énergie non renouvelable nécessaire à son cycle de vie est de 123MJ alors qu'elle est d'au moins 439MJ pour le système 4 et va jusqu'à 936MJ pour le système demandant le plus d'énergie qui est celui composé de béton cellulaire. Cet indicateur est bien sûr à mettre en relation avec l'indicateur d'épuisement des ressources fossiles, parce que s'ils ne s'expriment pas par la même unité, leurs causes sont similaires. Cependant, l'indicateur ADPF va prendre en compte la disponibilité de la ressource (Petiot, Witte, & Le Guern, 2012).

PE – Energie primaire totale

L'énergie primaire totale est la somme de l'énergie primaire renouvelable et non renouvelable. Ce critère défavorise totalement le système numéro 4 puisqu'il est celui ayant le chiffre le plus élevé (1291MJ) car sa consommation d'énergie primaire est très élevée. Le système 5 est toujours celui le moins impactant. Le système en terre crue se révèle pas si mauvais avec 688MJ mais le parpaing/polystyrène le devance de peu (751MJ).

WAC – Utilisation nette d'eau douce

Pensant que les systèmes utilisant de l'eau pour leur fabrication (béton à base de ciment ou enduit terre) allaient être les plus impactants, il n'en est rien puisque ce sont les systèmes 2, 4 et 6 qui utilisent près de 0,5m³ d'eau douce. Sachant que leurs murs font un volume environ égal à 0,5m³ (plus pour le numéro 6), ils consomment une quantité d'eau égale à leur volume.

Autres critères

Le critère sur l'utilisation de matière secondaire met à l'honneur les matériaux biosourcés (hors bois) puisque ce sont bien souvent des coproduits ou sous-produits de l'agriculture comme peut l'être la paille de blé (avant tout cultiver pour le grain) ou le lin. C'est pourquoi on peut voir dans le tableau présenté en annexe 10 que les quantités de matière secondaire sont plus élevées pour les 3 derniers systèmes constructifs.

Le critère PERM indiquant l'utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelable provenant de la matière est fortement élevé pour le système 4. Cette forte valeur d'énergie « cachée », induite par

l'utilisation de biosourcé (paille et bois)) se traduit dans le critère MER (matériaux destinés à la récupération d'énergie)).

2.6. Comparaison financière

Il est intéressant de mettre en perspective les impacts environnementaux précédents avec le prix de ces systèmes constructifs. L'un des freins à l'utilisation d'écomatériaux est l'aspect financier de ces constructions. Ces estimatifs de prix sont des prix déboursés sec, comprenant le coût des matériaux et le coût de la main d'œuvre comme l'indique l'illustration 31.

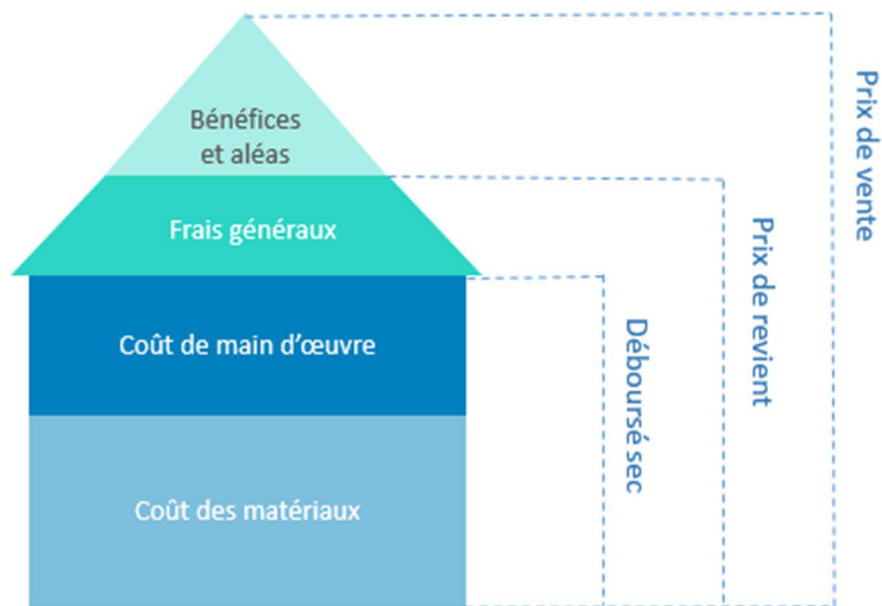


Figure 30 : Représentation des différents prix dans le bâtiment

A l'aide de la base de données Batiprix (dont on trouve ci-dessous une capture d'écran, cf. figure 32), d'une demande faite auprès de l'entreprise de construction paille Echopaille et de recherche sur internet, j'ai pu estimer les prix de ces 6 systèmes constructifs.

Description	Quantité	Unité	Prix unitaire	Total HT
Main-d'œuvre chantier	0,750	heure	28,71 €	21,53 €
▲ TOTAL MAIN D'ŒUVRE				21,53 €
Bloc emboîtement béton cellulaire	6,700	u	12,31 €	82,48 €
Mortier colle	8,400	kg	0,64 €	5,38 €
▲ TOTAL MATERIAUX				87,86 €
Déboursé sec HT				109,39 €
Prix de revient HT				142,75 €
▲ PRIX DE VENTE HT				158,60 €

Figure 31 : Capture d'écran de la base de données Batiprix pour un bloc de béton cellulaire

L'annexe 12 récapitule le prix déboursé sec de chacune des composantes du mur. Et le graphique 33 donne le prix de ces systèmes constructifs.

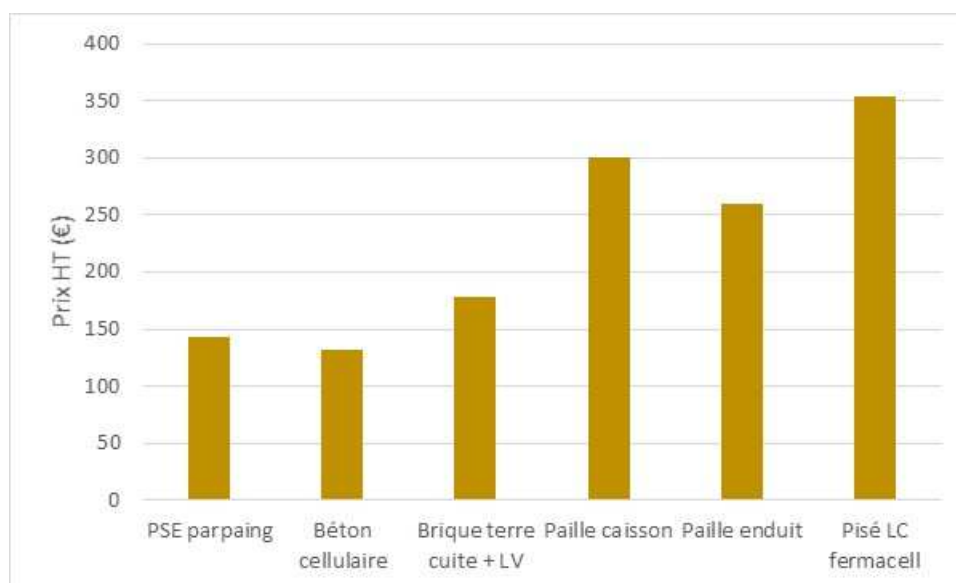


Figure 32 : Coût au m² des différents systèmes constructifs

Cette estimation montre sans conteste que les murs conventionnels sont moins chers à construire. Ces résultats sont comparables à ceux trouvés en 2017 lors d'une étude du Céréma (Pouillaude, 2017) où le coût (fourniture et pose) d'un mur en béton et isolation minérale est d'environ 180€HT/m² contre 240€HT/m² le mur en caisson paille préfabriqué. Cependant, il faut modérer ce constat puisque le confort et le ressenti qu'apportent le matériau terre ou paille peuvent permettre de moins chauffer l'habitat et donc d'économiser de l'argent à long terme. Les externalités (problèmes liés à la pollution de l'air ou de l'eau, délocalisation d'emploi, coût de la déconstruction, ...) ne sont pas non plus pris en compte. De plus, les prix donnés pour la paille par Echopaille correspondent à la mise en place de botte de paille de 37cm et ils n'ont pas été minorés pour correspondre à l'épaisseur de notre étude...

Enfin, les avantages des matériaux biosourcés et de la terre (gestion de la vapeur d'eau, santé, confort d'été) ne sont ici pas pris en compte.

2.7. Conclusion & discussion

Si on avait un porte-monnaie carbone, idée évoquée par un penseur de la décroissance (Abraham, 2019), et que l'on avait le droit d'émettre 80kg d'équivalent CO₂ par mètre carré de mur, on pourrait construire 1m² en béton cellulaire contre 20m² en paille enduite. Donc à impact carbone équivalent et en ne prenant en considérations que les murs, la construction d'une maison en brique cellulaire est équivalente à 20 maisons en ossature bois isolée en paille et enduite.

Dans la même idée, mais de façon opposée, le potentiel de réchauffement climatique a été quantifié en kgCO₂eq/m² puisque c'est la forme choisie pour la RE2020 mais une étude (Van Damme & Houben, 2018) a choisi d'exprimer les émissions de GES en kgCO₂eq/m³ rapporté à la résistance en compression en MPa, ce qui a eu pour conséquence de rendre nettement plus impactant un mur en terre (même stabilisé) par rapport à des briques de ciment conventionnelles. Ceci montre encore donc l'importance des règles de calcul que l'on utilise pour quantifier un impact.

J'ai un temps souhaité utiliser le logiciel Vizcab pour cette partie mais il fonctionne un peu à l'inverse de COCON BIM. Il permet de définir les systèmes constructifs en fixant certains paramètres énergétiques ou environnementaux contrairement à COCON BIM qui donne les performances énergétiques et environnementaux une fois les matériaux choisis.

Le titre de cette partie annonçait déjà les motivations de mon étude. Alors que l'ACV se veut être une analyse multicritère objective et donc ne pas être « au service » ou « contre » une certaine technique, on se rend compte que l'ACV peut être déviée, intentionnellement ou non, de son objet premier qui est de quantifier les impacts environnementaux de matériaux ou de systèmes constructifs comparables. L'opérateur, par les choix qu'il prend, peut orienter les résultats de son ACV. Néanmoins, à la suite de ces ACV, nous pouvons conclure que les systèmes « écoconstruits » sont sur de nombreux facteurs moins impactants que les systèmes conventionnels, et donc plus respectueux de l'environnement. Cependant, il est important de noter que les données résultantes de ces ACV sont grandement dépendantes des données initiales provenant des FDES et qu'il existe entre ces dernières de nombreux écarts et ce pour un même produit.

Partie 3 : Application aux stratégies de développement d'Ecobatys

L'étude de l'écosystème de l'écoconstruction faite précédemment nous pousse à nous intéresser de plus près à l'intégration d'Ecobatys dans ce paysage. Pour cela, un petit rappel de la création de cette SCIC est nécessaire.

3.1. Petit regard dans le rétroviseur

En 2008, le Pays de Fougères prend acte de l'importance d'entamer la transition énergétique de son territoire et va se positionner avec l'aide de l'Etat (à travers la DIRECCTE) et la Région Bretagne sur la nécessité d'impliquer les entreprises de la construction du territoire vers une démarche plus vertueuse. Cette réflexion portée par les élus a permis une première « acculturation » des acteurs du bâtiment à l'écoconstruction. C'est en 2010 qu'est né le projet Ecobatys au sein du Pays de Fougères pour engager des projets de sensibilisation avec de la formation et des chantiers exemplaires (Auberge de la Maison Neuve à Chauvigné). En 2012, ce projet de territoire est labellisé Pôle d'Excellence Rurale, confortant cette action de sensibilisation à l'écoconstruction grâce à des aides de l'Etat. De 2012 à 2014, des formations sont alors dispensées par la CRMA (Chambre Régionale des Métiers et de l'Artisanat) et la CAPEB pour pallier ce manque cruel de formations des professionnels. En 2015 et 2016, une étude est lancée afin de connaître le mode de fonctionnement et la forme juridique que pourrait prendre cette entité encore portée par le Pays de Fougères.

Il est décidé suite à cette étude réalisée par la SCOP Kejal qu'une Société Coopérative d'Intérêt Collectif allait être constituée. L'assemblée constitutive a donné naissance à la fondation à trois collèges :

- Collège 1 : « Stratégie de Développement territorial et Economie bas carbone »
- Collège 2 : « Gouvernance, éthique et valeurs, modes de coopération, participation citoyenne »
- Collège 3 : « Formation, compétences, ingénierie de formation, recherche et innovation technique et technologique »

La gouvernance de la SCIC est assurée à titre bénévole par des cogérants, au nombre de 3. La SCIC compte également des sociétaires (entreprises, organismes de formation, collectivités, particuliers, ...). Ils sont environ 60 à ce jour.

La SCIC s'installe en 2017 dans ses locaux actuels et prend ainsi un nouvel élan. Le bâtiment dans lequel elle installe ses activités est exemplaire. Il est économe en carbone, il a recours aux éco-matériaux et aux énergies renouvelables. De niveau passif, il intègre la fin de vie du bâtiment en utilisant 90% de matériaux recyclables. De plus, avec sa salle d'exposition, sa salle de classe et sa plateforme-technique, il permet à Ecobatys d'exercer pleinement ses activités, notamment de formation. En plus de ses performances

environnementales, son esthétique est très attrayante et se démarque avec brio des bâtiments environnants. C'est une chance pour Ecobatys d'avoir ce bâtiment.



Figure 33 : Photo du bâtiment d'Ecobatys

La SCIC a mis du temps à trouver son équilibre financier puisqu'il reposait principalement sur des conventions passées avec des organismes de formation pour utiliser les locaux d'Ecobatys. Ce problème économique a été déterminant pour le développement des activités de la société mais il semble se résoudre aujourd'hui.

3.2. Activités d'Ecobatys

Formations courte et longue

Si les activités n'étaient à la base pas clairement définies, Ecobatys peut être considéré comme un **centre de formation** de l'écoconstruction. La formation longue Maçon-ne Terre Crue proposée depuis septembre 2020 a permis à Ecobatys de trouver sa voie. Elle consolide ainsi le budget de la SCIC et représente pour l'extérieur une belle vitrine de ce qui peut se faire avec des matériaux sains. Le nombre de candidature pour la 2^{ème} session de formation montre bien cet engouement autour de cette belle formation certifiante. La journée découverte de l'écoconstruction du 6 mars a été une franche réussite de par l'implication de ces maçons en formation. La formation MTC durant 8 mois, il serait pertinent de proposer une autre formation de 3 à 4 mois, ce qui permettrait d'optimiser l'utilisation des locaux. Cette

formation pourrait s'adresser à des professionnels de l'écoconstruction (comme « Bâtisseuse.Bâtisseur Biosourcés » proposée par la Fédération Ecoconstruire mais ne durant que 15 jours) ou à des jeunes migrants pour qu'ils apprennent le français tout en apprenant un métier.

Le nombre de formation courte (de 1 à 5 jours) doit être plus conséquent. Proposer 1 formation courte par mois me paraît envisageable et consoliderait les finances de la structure. Ecobatys a par le passé proposé 17 formations courtes différentes. Certains organismes de formation proposent un grand nombre de formation et dispensent celles qu'ils arrivent à compléter. Ce peut être une option à envisager. On sait aujourd'hui qu'il est toujours possible de proposer des formations malgré l'incertitude liée au contexte sanitaire actuel.

Sensibilisation : conférence, midi performance, maquettes et matériauthèque, exposition, animation technique.

L'un des axes structurant de la société concerne la sensibilisation et le partage d'informations auprès des ses partenaires et du grand public. Ecobatys peut réellement se revendiquer être un **centre de ressources** de l'écoconstruction puisqu'elle possède une bibliothèque et une matériauthèque bien fournie, des « maquettes phénomène » explicatives de systèmes physiques, des expositions temporaires et une plateforme technique (un showroom) où sont présentées différentes techniques constructives. La location des locaux est une activité permettant de faire rentrer des recettes mais également de promouvoir Ecobatys dans son ensemble, elle est donc à continuer impérativement.

Les « Midi Performance » qui sont présentés tous les premiers jeudis du mois sont un évènement à maintenir à l'avenir et à mieux valoriser. Ce sont des animations explicatives gratuites permettant aux présentateurs de faire connaître leur produit ou leur service tout en créant du lien entre les personnes présentes, que ce soit des privés ou des professionnels. Une fois de plus, le contexte lié à la covid n'aide pas ces rassemblements mais ils sont pourtant primordiaux pour créer un dynamisme autour d'Ecobatys. Son emplacement près de l'autoroute est un avantage certain mais le fait que le bâtiment soit dans un parc d'activités ne donne pas la possibilité à la SCIC de créer un lieu convivial.

À l'avenir, il pourrait être envisagé d'organiser des « cafés de l'écoconstruction » dans d'autres endroits pour continuer d'informer les citoyens sur les pratiques de réhabilitation et de construction durable.

Conseil aux particuliers et collectivités

On l'a vu, Ecobatys adresse ces formations avant tout à des professionnels. Cependant, un grand nombre de particuliers cherchent à être conseillé pour mener à bien leurs travaux. De la même façon, des collectivités recherchent des structures compétentes pour les assister dans l'utilisation de matériaux

biosourcés ou dans la construction de bâtiments performants. C'est là qu'Ecobatys peut se positionner : comme assistant à maîtrise d'ouvrage. Le projet de Bazouge-du-Désert est une réalisation concrète qui mettra en avant le dynamisme d'Ecobatys, notamment grâce à l'implication des citoyens en organisation des chantiers participatifs. Cependant, le manque de ressources humaines compétentes poussera la SCIC à recruter une personne qualifiée. A titre indicatif, la SCIC Eco-Pertica travaillant dans l'Orne propose ce genre de conseils et fonctionne très bien. Elle pratique les tarifs mentionnés dans le graphique ci-dessous.

Conseils	
Visite pré-achat – minimum 2h	66 € TTC /h + déplacement
Visite avant travaux – minimum 2h	66 € TTC /h + déplacement
Accompagnement technique*	84 € TTC /h + déplacement (tarif solidaire possible, nous contacter)

Figure 34 : Tarifs de la SCIC Eco-Pertica pour un accompagnement technique

Location de matériel ou vente de matériaux

Une possibilité de développement réside sur de la location de matériel ou de la vente de matériaux. L'embauche d'une personne pour conseiller les particuliers et les collectivités peut permettre de développer une autre activité : la location de matériel et la vente de matériaux. Le magasin de matériaux écologiques le plus proche se trouve à la Mézière, soit à 45 min de Fougères. Puisqu'ils sont sociétaires d'Ecobatys, un partenariat pourrait être engagé avec eux.

Mise en réseau

La dernière mission d'Ecobatys consiste à mettre en réseau les différents professionnels de l'écoconstruction du territoire et plus largement encore. Le rayonnement qu'elle a acquis au cours de ces dernières années se fait ressentir. Il y a aujourd'hui de nombreuses personnes qui appellent le standard afin de demander des renseignements sur tel ou tel sujet, montrant le statut de **référence** qu'a obtenu Ecobatys. Forte de sa forme juridique coopérative, l'entreprise ne doit cesser d'impliquer ses sociétaires dans ses projets puisqu'ils représentent de véritables collaborateurs.

L'analyse SWOT est un outil de stratégie d'entreprise intéressant et permet de positionner Ecobatys dans son environnement interne (forces et faiblesses) et externe (opportunités et menaces). On retrouve cette analyse dans le graphique ci-dessous.

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Une motivation sans faille - Un bâtiment exemplaire et spacieux - Un équilibre économique qui se trouve - Le statut fédérateur de la SCIC - Une complémentarité des cogérants - La proximité avec l'autoroute - Un réseau de plus en plus important 	<ul style="list-style-type: none"> - Une équipe salariale peu nombreuse - Le renouvellement des sociétaires - Une image extérieure entachée par les difficultés passées - Faible capacité financière
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Le support des institutions politiques - Une image qui s'embellit - L'arrivée de la RE2020 et le besoin de formation des professionnels (réglementation favorable) - Un engouement général autour de l'écoconstruction (marché en essor) 	<ul style="list-style-type: none"> - Une certaine dépendance aux financements extérieurs - Un manque de temps des artisans pour se former - Le contexte sanitaire actuel

Figure 35 : Analyse SWOT d'Ecobatys

A travers cette brève analyse, on voit bien que la structure possède de réelles forces et que des opportunités sont présentes sur le marché grâce notamment à une réglementation favorable et à un marché en plein essor qui « obligera » les professionnels de la construction à se former à de nouvelles pratiques. Cependant, il existe des faiblesses que l'entreprise doit prendre en compte et des menaces auxquelles elle doit faire attention.

3.3. Conclusion

Né d'une volonté politique forte il y a plus de 10 ans, le projet d'une transition éco-énergétique des territoires porté par le Pays de Fougères a donné naissance à la société d'intérêt collectif en 2016. Alors que son modèle économique a mis du temps à être trouvé, elle semble aujourd'hui trouver un équilibre financier qui lui permet d'envisager sereinement l'avenir grâce à la complémentarité de formations courtes et longues. Le développement nécessaire et souhaité de ses activités l'obligera à recruter des forces vives prochainement. De plus, le travail effectué par les 3 cogérants représente plus d'un équivalent temps plein à ce jour et leur implication bénévole ne saura perdurer ainsi à long terme. La réflexion brièvement engagée dans ce rapport et par l'équipe de la SCIC doit se poursuivre avec les sociétaires afin de spécifier vers quoi elle veut se développer.

A travers cette brève présentation de la structure et de ses stratégies de développement, il semble incontestable qu'Ecobatys est en passe de devenir un acteur incontournable de l'écoconstruction, à l'intersection entre la Bretagne et la Normandie.

Conclusion Générale :

Promue à la base par des constructeurs militants, l'écoconstruction n'est plus seulement la construction d'un habitat écologique mais bel et bien la seule réponse aux enjeux climatiques actuels. Alors que les écosystèmes naturels sont de moins en moins riches à l'échelle de la planète, l'écosystème de l'écoconstruction (défini comme l'ensemble formé par une communauté d'individus en interrelation avec leur environnement) se complexifie. Face aux poids lourds que représentent les industriels de la construction conventionnelle, un ensemble d'acteurs essaie de se structurer par filière ou par région pour peser plus lourds auprès des organes décisionnaires et du grand public. Les avantages des matériaux biosourcés et géosourcés sont pourtant nombreux : respectueux de l'environnement (faible impact carbone, peu énergivore, ...), sain, bon pour les territoires, en accord avec le fonctionnement des bâtiments, performant techniquement, source d'emplois, etc. Cependant, la perte des savoir-faire qui s'est opérée dans les années d'après-guerre nous oblige aujourd'hui à réapprendre à les utiliser et à les apprécier.

La réalisation d'ACV est un moyen de plus pour convaincre les personnes du bienfondé de l'écoconstruction. C'est un outil qui nous permet de quantifier les impacts environnementaux des produits ou des procédés afin de les réduire en pointant les mécanismes responsables de ceux-ci. Alors qu'il a fallu plus de 30 ans pour savoir ce qu'était la consommation d'une maison en kWh, nous devons rapidement comprendre ce que représente 1kg de CO₂. L'étude faite dans la seconde partie de ce rapport montre bien qu'il faut se méfier des données que l'on utilise pour réaliser les ACV parce que les FDES, bien que contrôlées, peuvent être des outils de communication avant d'être des éléments objectifs.

Le vent souffle dans le dos des écomatériaux mais seule une pensée systémique tirera la construction vers le haut. On ne peut raisonner aujourd'hui comme on raisonnait hier. L'approche en coût global doit se substituer au consumérisme latent. On peut construire aujourd'hui sans compromettre nos vies de demain.

BIBLIOGRAPHIE

- Abou El Khair, C. (2020, octobre 5). *BTP, santé, numérique... Ces secteurs qui embauchent malgré la crise du Covid-19*. Récupéré sur Le journal du dimanche: <https://www.lejdd.fr/Economie/btp-sante-numerique-ces-secteurs-qui-embauchent-malgre-la-crise-du-covid-19-3995975>
- Abraham, Y.-M. (2019). *Comment guérir du mal de l'infi*. Montréal: Ecosociété.
- Attia, S., & Gauvreau-Lemelin, C. (2017). Benchmarking the Environmental Impact of Green and Traditional Masonry. PLEA Edinburg.
- Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K., DiPietro, G., & Hameen, E. (2019). *Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material*.
- Boutelet, C. (2020). En Allemagne, les renovations énergétiques des bâtiments n'ont pas fait baisser la consommation. *Le Monde*, https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/10/04/en-allemande-les-renovations-energetiques-des-batiments-n-ont-pas-fait-baisser-la-consommation_6054715_3234.html.
- BRUDED, R. (2019, mars). 22 retours d'expériences pour des bâtiment publics durable et sains .
- Cantillon, G. (2016). *Guide de l'Achat Public - L'achat public : une réponse aux enjeux climatiques*. Ministère de l'Economie et des Finances.
- CEE. (2015). *Les filières de matériaux biosourcés pour la construction en Bretagne - Etat des lieux et mise en perspective*. Cellule Economique de Bretagne.
- Collet, F. (2004). *Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de génie civil à faible impacts environnementaux*. INSA Rennes.
- Courgey, S., & Oliva, J.-P. (2006). *La conception bioclimatique*. Terre vivante.
- Gan, X., Zuo, J., Ye, K., Skitmore, M., & Xiong, B. (2015). *Why sustainable construction? Why not? An owner's perspective*. Habitat International.
- Godfrain, M. (2020, Novembre 27). *Grand Paris : de la terre à la ville*. Récupéré sur Wedemain: <https://www.wedemain.fr/ma-maison-demain/grand-paris-de-la-terre-a-la-ville/>

- Halada, K., & Yamamoto, R. (2001). *The current status of research and development on ecomaterials around the world*. MRS bull.
- Houdus, C. (2017). *Rapport de PDF - Stratégies de développement des écomatériaux locaux*. INSA Rennes.
- Interchanvre. (2019). *Rapport sur la filière chanvre dans la construction - Perspective JO 2024* .
- Latortue, X., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2018). *LES CHANTIERS DE L'ECO-CONCEPTION : Etat des lieux de la Recherche dans le Bâtiment en France*.
- Lesage, É. (2018). *Un fort ancrage de la filière bois dans l'économie* . Insee Bretagne.
- Leylaverigne, E. (2016). *La filière terre crue en France - enjeux, freins et perspectives*. Terra Lyon.
- Magalhaes, N. (2019, septembre 11). *Accumuler de la matière, laisser des traces* . Récupéré sur Terrestres: <https://www.terrestres.org/2019/09/11/accumuler-de-la-matiere-laisser-des-traces/>
- Melia, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., & Dotelli, G. (2014). *Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters*. Journal of Cleaner Production.
- Pannier, M.-L. (2017). *Étude de la quantification des incertitudes en analyse de cycle de vie des bâtiments*. Paris: Université Paris sciences et lettres.
- Pelletier, P. (2011). *Groupe de travail « Innovation & Recherche ». Leviers à l'innovation dans le secteur du bâtiment - Rapport intermédiaire*.
- Petiot, C., Witte, F., & Le Guern, Y. (2012). *Indicateurs d'épuisement des ressources en analyse de cycle de vie*.
- Plateau, L., Holzemer, L., Nyssena, T., & Maréchal, K. (2016). *Cahier I : Structuration des filières en circuits courts - La durabilité vécue et mise en oeuvre par les acteurs des circuits courts*. CEESE-ULB.
- Pouillaude, A. (2017). *Le coût des matériaux biosourcés dans la construction : état des lieux de la connaissance (2016)*. CEREMA - DREAL Ouest.
- Reuge, N., Moissette, S., & Bart, M. (2019). *Water Transport in Bio-based Porous Materials: A Model of Local Kinetics of Sorption—Application to Three Hemp Concretes*. Transport in Porous Media.
- Rojat, F., Hamard, E., Fabri, A., Carnus, B., & McGregor, F. (2020). *Towards an easy decision tool to assess soil suitability for earth building*.

Romon, C. (2019). *Note de conjoncture trimestrielle : 3e trimestre 2019 - Observatoire de la commande publique de maîtrise d'œuvre en bâtiment et aménagement.*

Seng, B., Lorente, S., & Magniont, C. (2017). *Scale analysis of heat and moisture transfer through bio-based materials — Application to hemp concrete.* INSA Toulouse.

Thieblession, L. (2018). *Elaboration et caractérisation de matériaux issus de ressources locales recyclées ou biosourcées.* Université de Rennes 1 .

Van Damme, H., & Houben, H. (2018). *Earth concrete. Stabilization revisited.* Cement and Concrete Research.

Zhou, L., & Lowe , D. (2003). *Economic Challenges of Sustainable Construction.* RICS Foundation.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Chaîne de valeur économique de la filière bois

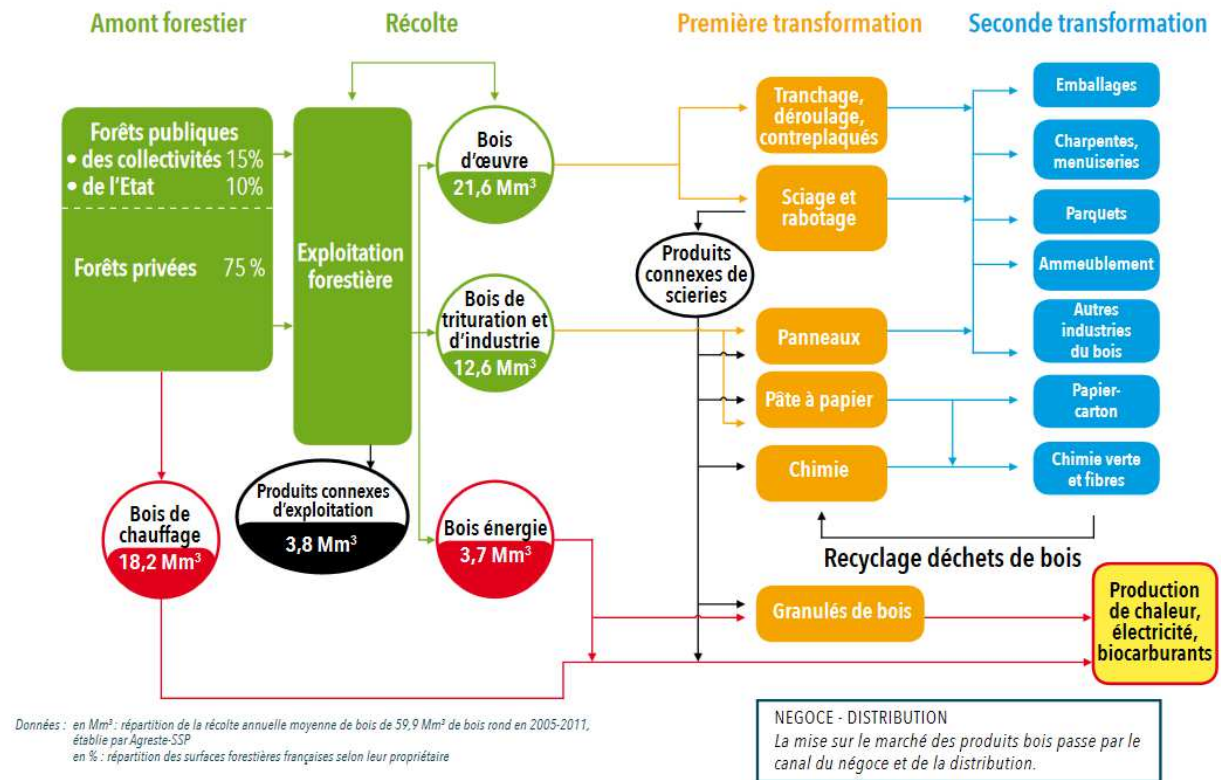


Schéma tiré d'une présentation de France Bois Forêt et de la FBIE

ANNEXE 2 : Carte des différents CAUE en France

LES CAUE et les URCAUE en 2016

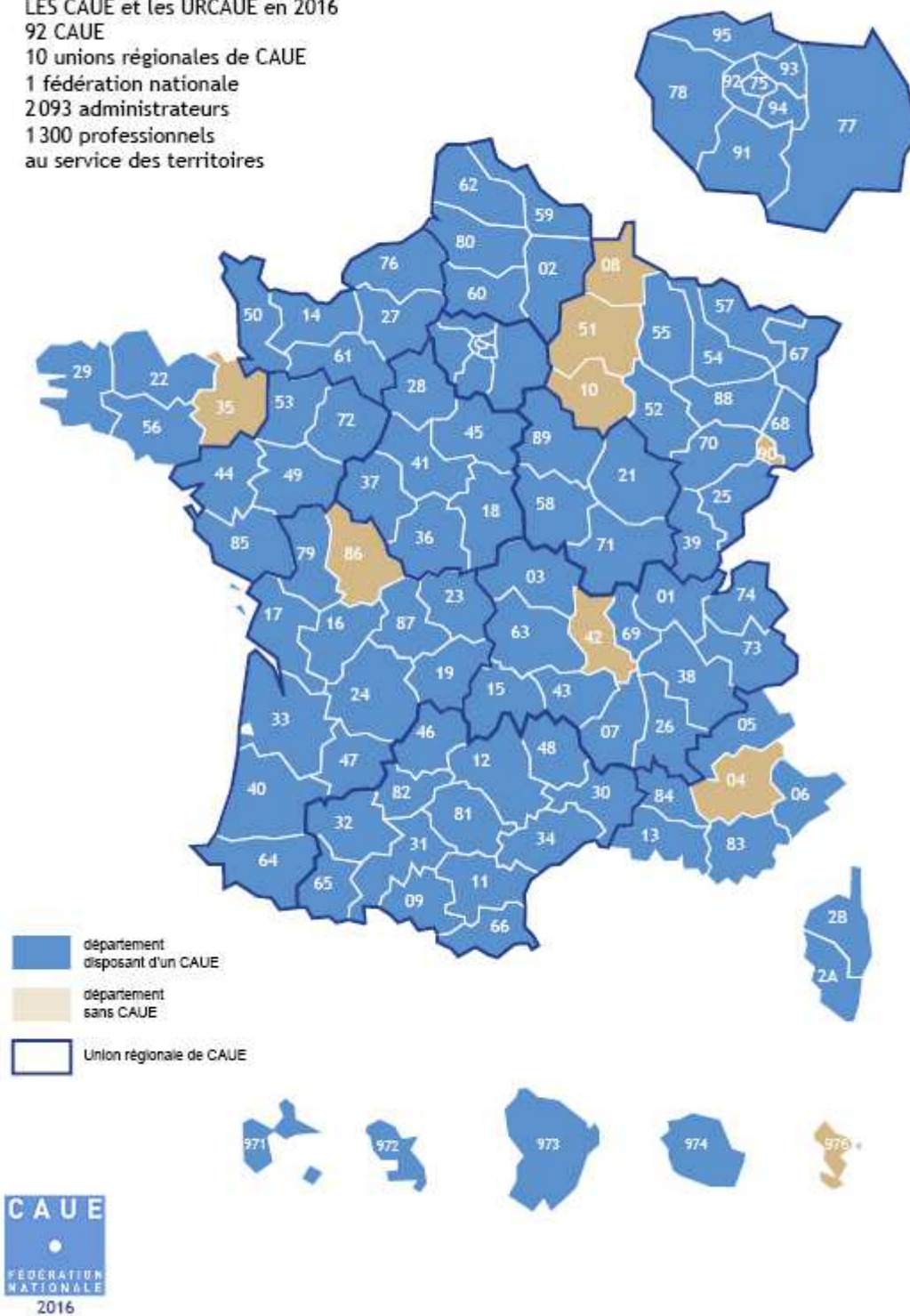
92 CAUE

10 unions régionales de CAUE

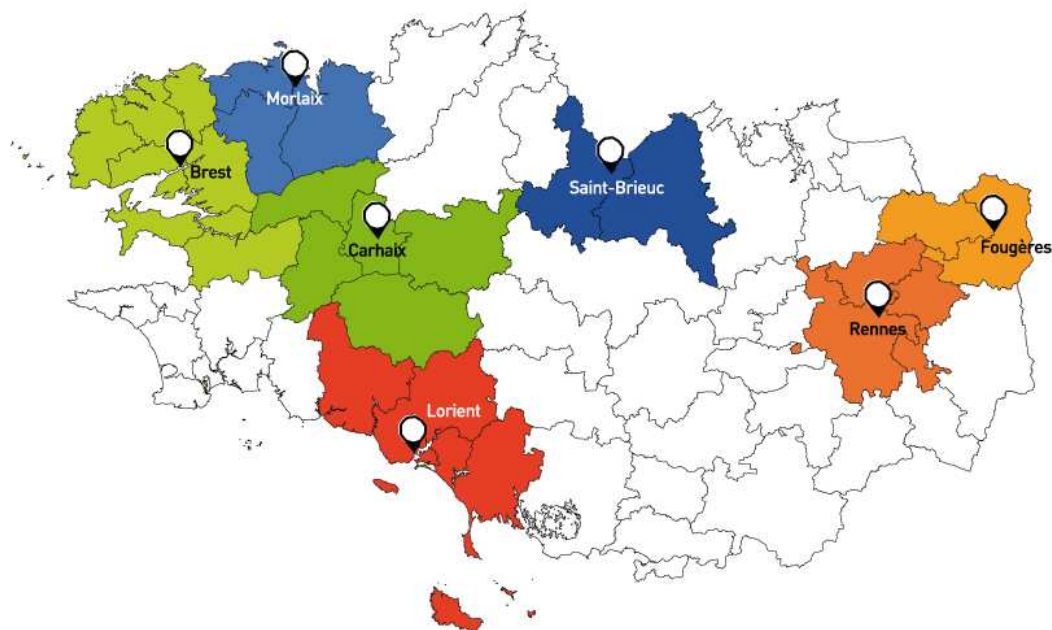
1 fédération nationale

2093 administrateurs

1300 professionnels
au service des territoires

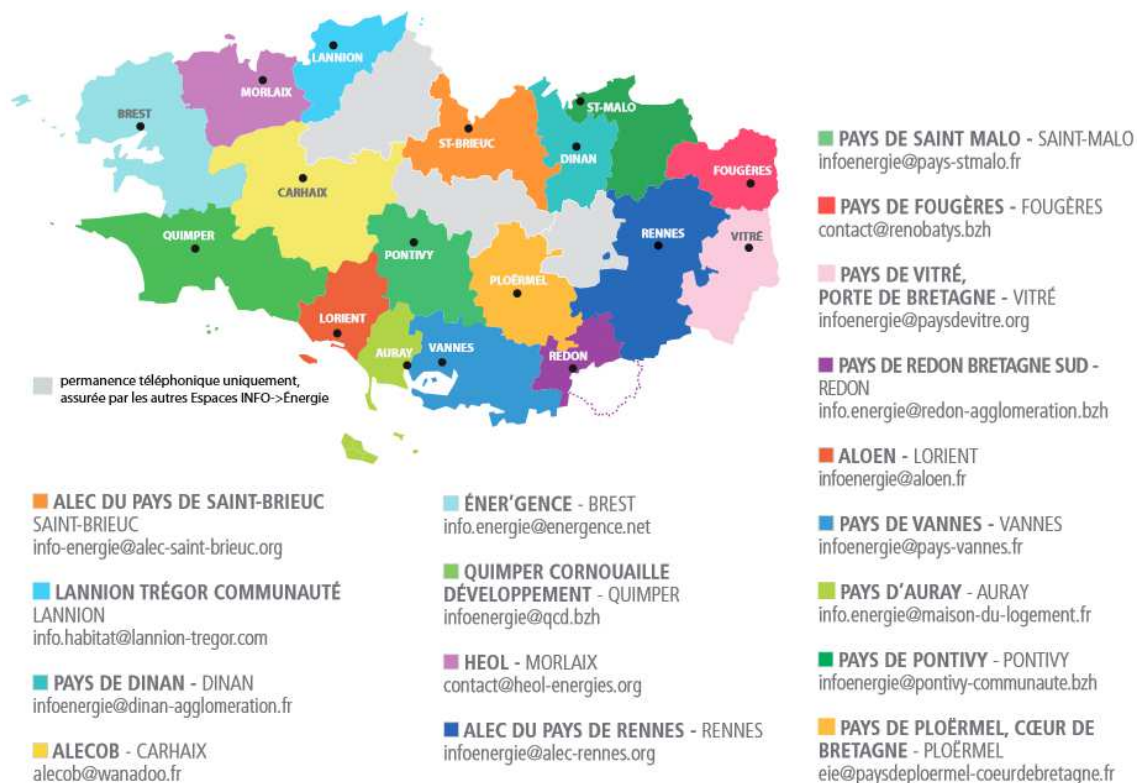


ANNEXE 3 : Cartographie des différentes ALEC réunies par le réseau Breizh ALEC



ANNEXE 4 : Cartographie des ALEC réunies par le réseau Breizh ALEC

<https://bretagne.ademe.fr/sites/default/files/rapport-activite-eie-bretagne.pdf>



ANNEXE 5 : Autres labels



- **Ange Bleu** : label que le gouvernement allemand confère à des produits et services écologiques. Lors de sa création il y a plus de 35 ans, l'Ange bleu a été le premier label écologique dans le monde entier et est synonyme de l'indépendance et de la crédibilité. Des peintures, du mobilier, des moquettes ou des équipements sanitaires (d'origine allemande surtout) bénéficient de ce label.

- **OK biobased** et **Biobased products** et **Biobased content** : labels caractérisant le pourcentage de matières premières renouvelables d'un produit.

- **Écolabel européen** : seul label écologique officiel européen utilisable et reconnu par tous les pays membres de l'Union Européenne et créé en 1992.

- **NF Environnement** : créé en 1991, NF Environnement est un écolabel délivré par AFNOR Certification, organisme certificateur indépendant. Il a pour objet d'attester la conformité de produits ou services aux exigences définies dans des cahiers des charges (ou référentiels) basés sur des normes et qui portent sur la qualité d'usage et la qualité environnementale des produits.

- **ECO CERT** : ECO CERT est un organisme de contrôle et de certification, dont l'activité est encadrée par les pouvoirs publics et la législation (agrée par le ministère de l'agriculture et de la pêche, et par le ministère des finances et de l'industrie). En termes de structure et de procédure, ECO CERT est accrédité par le COFRAC*, et s'appuie sur les normes européennes en vigueur pour délivrer le label.

- **Nordic Swan** : écolabel nordique prenant en considération l'impact d'un produit durant sa vie entière, depuis les matières premières jusqu'au recyclage du produit.

- **Forest Stewardship Council (FSC)** et **Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC)**, certifiant la gestion durable des ressources forestières. Dans le cadre d'un marché de travaux, il est possible de faire référence aux labels / certifications suivants ciblant les qualifications des professionnels dans les critères de sélection des candidatures. Le label PEFC a été créé pour pallier le fait que le FSC n'est pas adapté au morcellement des forêts européennes puisqu'il concerne des forêts de grandes étendues, de type tropical.



- **Keymark** : la Keymark, également appelée certification européenne CEN/CENELEC, est une marque de certification volontaire, par tierce partie, qui donne l'assurance qu'un produit répond aux exigences spécifiées dans les normes européennes qui le concerne.

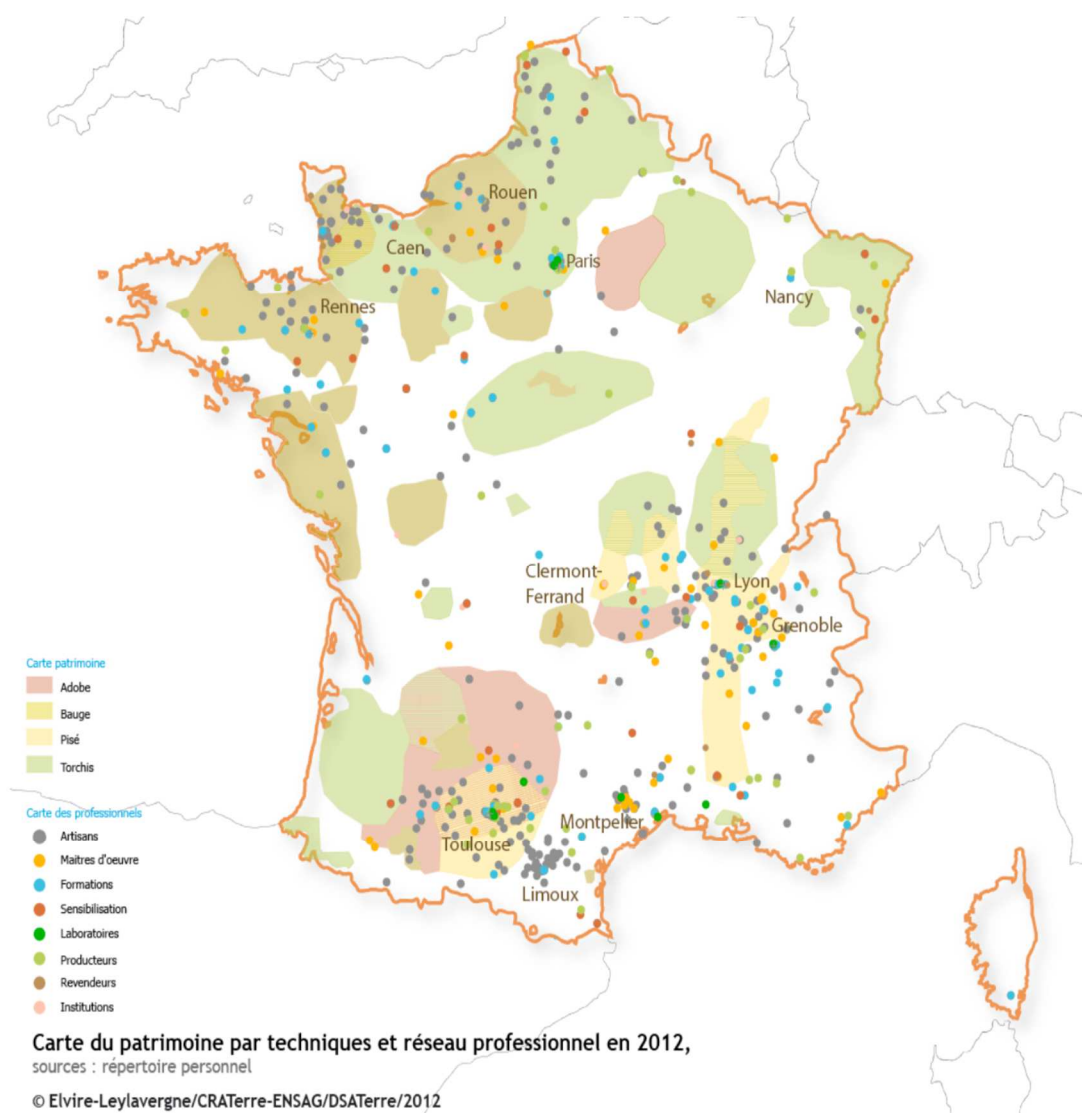
Cette certification apporte l'assurance au consommateur que le produit est conforme à la norme européenne et qu'il est contrôlé par un organisme indépendant. La Keymark est délivrée par l'association ACERMI, soit le CSTB et le LNE, ou par un organisme Européen accrédité par le CEN, et a une durée de validité de 5 ans.

- **Label ECO Artisan** : Ce label français impose le respect de 3 règles auprès des artisans. Ils s'engagent à améliorer la performance énergétique de leur client en leur proposant une évaluation thermique. Ils doivent également conseiller des solutions performantes qui répondent aux attentes de ses clients. Et enfin, ils garantissent un service de qualité et une bonne réalisation de leurs travaux. Il est délivré par Qualibat.

- **Mention Reconnu Garant de l'Environnement (RGE)** : cette mention identifie les professionnels compétents pour des travaux de rénovation énergétique et porteurs des aides de l'Etat. Il est associé au label ECO Artisan.

- **Chantier Vert** : ces chantiers ont pour but principal de gérer les nuisances environnementales engendrées par les différentes activités liées aux travaux. Trois aspects sont examinés : les flux entrants du chantier (engins et matériels utilisés sur le chantier, livraison), le chantier lui-même (techniques employées, gestion des déchets), les flux sortants du chantier (déchets évacués, nuisances générées vis-à-vis des riverains). Ce label engage les maitres d'œuvre et les entreprises à minimiser les nuisances environnementales pendant la phase chantier.

ANNEXE 6 : Carte du patrimoine français en terre et du réseau professionnel en 2012



NB : Yoann Boy, architecte dplg de l'agence ALP, a indiqué lors d'une formation le 19/03/2021 que « si cette carte était actualisée, le nombre de projet serait beaucoup plus important »

ANNEXE 7 : Exemple d'un certificat ACERMI



ASSOCIATION POUR LA CERTIFICATION DES MATERIAUX ISOLANTS
ASSOCIATION DECLARÉE (LOI DU 1ER JUILLET 1901) ORGANISME CERTIFICATEUR DECLARE (LOI 94-442 DU 3 JUIN 1994)
CSTB - LNE



CERTIFICAT ACERMI
N° 14/130/962
Licence n° 14/130/962

En application des Règles Générales du Certificat de produit ACERMI et du référentiel Produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales version B du 01/09/2014 de la Certification des matériaux isolants thermiques,

la société :

Raison sociale : **CAVAC BIOMATERIAUX**
 Company:

Siège social : **LE FIEF CHAPITRE 85400 ST GEMME LA PLAINE - France**
 Head Office:

est autorisée à apposer la marque ACERMI sur le produit isolant, sur les emballages et sur tout document concernant directement le produit désigné sous la référence commerciale

Biofib'Trio

et fabriqué par les usines de : Sainte Gemme La Plaine - France (85)
 Production plant:

avec les caractéristiques certifiées figurant en page 2 du présent certificat.
 Certified characteristics are given in page 2.

Ce certificat atteste que ce produit et le système qualité mis en œuvre pour sa fabrication font respectivement l'objet d'essais de conformité et d'audits périodiques avec prélèvement d'échantillons pour essais, suivant les spécifications définies par le référentiel Produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales.

This licence, delivered under the ACERMI Technical Regulations, certifies that the products and the relevant quality system are respectively submitted to tests of conformity and periodical audits with sampling for tests, according to the specifications of the Technical Regulations Factory-made plant and animal fiber-derived products.

Ce certificat a été délivré le 01 janvier 2021 et, sauf décision ultérieure à la présente certification, due en particulier à une modification du produit ou du système qualité mis en place, est valable jusqu'au 31 décembre 2023.

This certificate was issued on January 01st 2021 and is valid until December 31st 2023, except new decision due to a modification in the product or in the implemented quality system.

Pour le Président
 T. GRENON

P. PRUDHON

Pour le Secrétaire
 E. CRÉPON

F. LYON

La validité du certificat peut être vérifiée en consultant la base de données sur le site www.acermi.com
 Renouvellement du certificat n° 14/130/962 Édition 5, délivré le 11 septembre 2019
Renewal of certificate n° 14/130/962 Edition 5, issued on September 11th 2019

CARACTÉRISTIQUES CERTIFIÉES

Certified properties

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE CERTIFIÉE : $\lambda_D = 0.038$ W/(m.K)
Certified thermal conductivity:

Épaisseur (mm)	Résistance thermique - Thermal resistance										
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
R (m ² .K/W)	1,15	1,30	1,40	1,55	1,70	1,80	1,95	2,10	2,20	2,35	2,50
Épaisseur (mm)	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
R (m ² .K/W)	2,60	2,75	2,85	3,00	3,15	3,25	3,40	3,55	3,65	3,80	3,90
Épaisseur (mm)	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	-
R (m ² .K/W)	4,05	4,20	4,30	4,45	4,60	4,70	4,85	5,00	5,10	5,25	-

AUTRES CARACTÉRISTIQUES CERTIFIÉES
Other certified properties

Tolérance d'épaisseur	I2
-----------------------	----

ANNEXE 8 : Critères environnementaux des FDES et PEP

Potentiel de réchauffement climatique	GWP	kg CO2 eq.
Potentiel de réchauffement climatique dynamique	GWPD	kg CO2 eq.
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique	ODP	kg CFC-11 eq.
Formation d'ozone photochimique	POCP	kg C2H4 eq.
Pollution de l'air	AIP	dam3
Pollution de l'eau	WAP	m3
Potentiel d'acidification du sol et de l'eau	AP	kg SO2 eq.
Potentiel d'eutrophisation	EP	kg (PO4)3 eq.
Indicateur d'épuisement des ressources non fossiles	ADP	MJ
Indicateur d'épuisement des ressources fossiles	ADPF	MJ
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable	PERT	MJ
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables MATIERE	PERM	MJ
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables PROCEDE	PERE	MJ
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable PROCEDE	PENRE	MJ
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables MATIERE	PENRM	MJ
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables	PENRT	MJ
Utilisation de matière secondaire	SM	kg
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	RSF	MJ
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	NRSF	MJ
Utilisation nette d'eau douce	WAC	m3
Déchets dangereux éliminés	HWD	kg
Déchets non dangereux éliminés	NHWD	kg
Déchets radioactifs éliminés	RWD	kg
Composants destinés à la réutilisation	CRU	kg
Matériaux destinés au recyclage	MFR	kg
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	MER	kg
Energie fournie à l'extérieur	EE	MJ

ANNEXE 9 : Liste des logiciels agréés pour l'évaluation environnementale dans le cadre du label E+C-

Tiré du site <http://www.batiment-energiecarbone.fr/liste-des-logiciels-a-votre-disposition-a43.html>

Les logiciels suivants, qui ont participé à la procédure d'accompagnement validant leur conformité avec le référentiel de l'expérimentation, permettent

- de réaliser l'évaluation environnementale nécessaire au calcul des indicateurs « émissions de gaz à effet de serre » Eges et EgesPCE
- d'inscrire les informations de l'opération et les résultats de l'évaluation environnementale au format de sortie compatible avec l'observatoire de l'expérimentation (RSEE : [Récapitulatif Standardisé Énergie - Environnement](#) (format pdf - 13.7 ko - 04/01/2019)).

Éditeur	Logiciel	Site	Contact
BBS Slama	ClimaWin	www.bbs-logiciels.com/clima-win/	contact@bbs-slama.com
Bionova Ltd	OneClick LCA	www.oneclicklca.com/green-building-software/	panu.pasanen@bionova.fi
CSTB	ELODIE	www.elodie-cstb.fr	support.elodie@cstb.fr
IZUBA énergies	Pleiades ACV	www.izuba.fr	contact@izuba.fr
Logiciels PERRENOUD	ThermACV	www.logicielsperrenoud.com	thierry@logicielsperrenoud.com
Bastide Bondoux	Béa	www.bastide-bondoux.fr	bea@bastide-bondoux.fr
Graitec Innovation	ArchiWIZARD	fr.graitec.com/archiwizard/	benjamin.cabrit@graitec.com
Combo Solutions	Vizcab	vizcab.io	hello@combosolutions.eu
Eosphère	COCON	www.cocon-bim.com	contact@eosphere.fr

Les remontées d'anomalies, remarques et toute autre question concernant l'utilisation des logiciels doivent être effectuées auprès des éditeurs de logiciels dont les coordonnées sont fournies ci-dessus.

Cette liste sera mise à jour périodiquement dans le cadre de la poursuite de la procédure d'accompagnement et d'analyse de la compatibilité des logiciels présentés par les éditeurs volontaires. Tout éditeur qui souhaiterait être intégré à cette liste peut se référer à la procédure citée ci-avant.

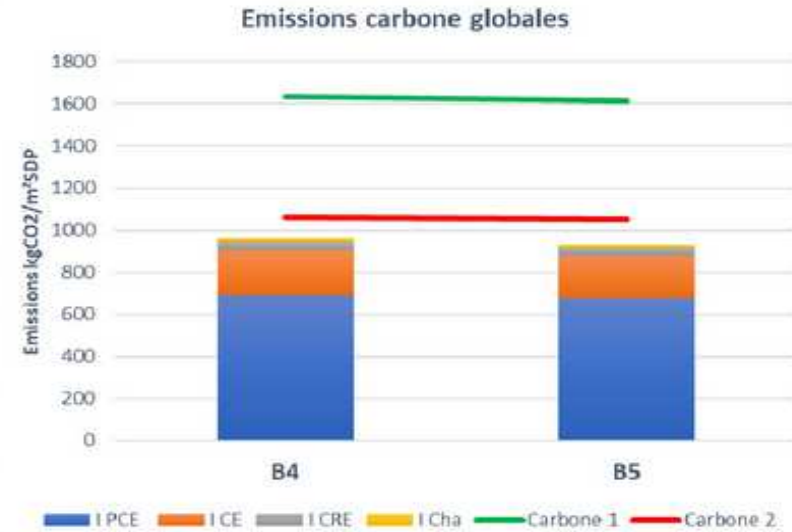
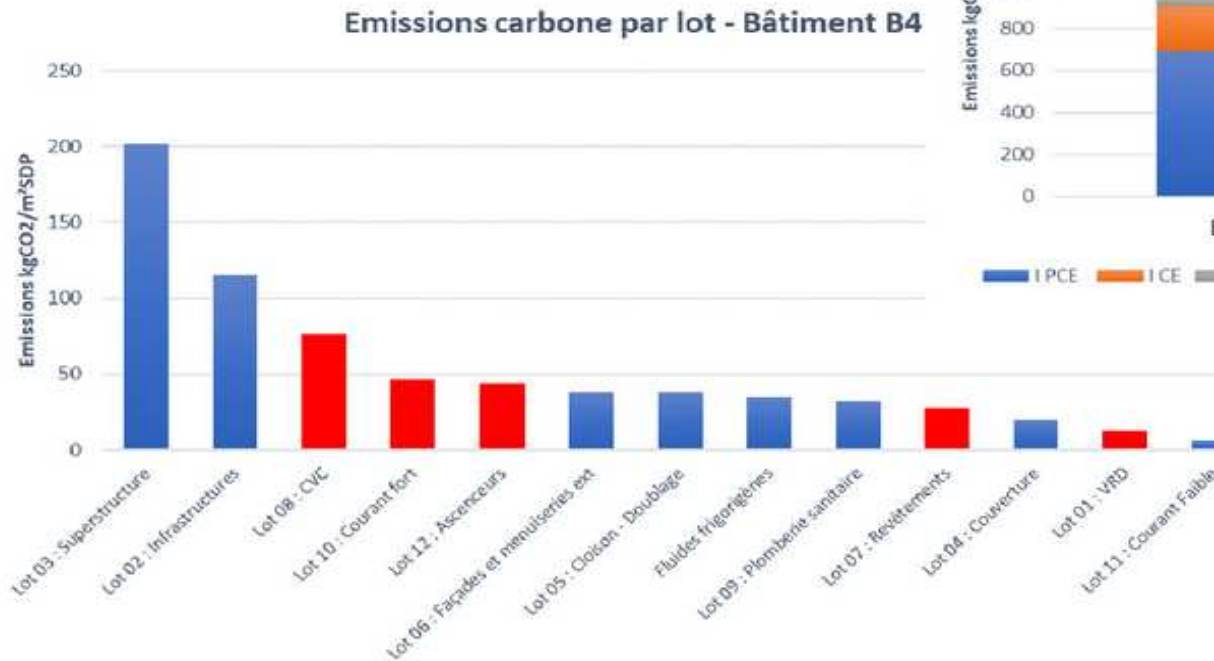
Rapport de PFE – Nathan Letourneux

ANNEXE 10 : Tableau donnant les données des différents critères environnementaux extraits du logiciel COCON BIM

		Unité	PSE parpaing	Béton cellulaire	Brique terre cuite + LV	Paille caisson	Paille enduit	Pisé LC fermacell	
Potentiel de réchauffement climatique	GWP	kg CO2 eq.	28,0	79,5	47,3	-2,66	3,54	25,3	
Potentiel de réchauffement climatique dynamique	GWPD	kg CO2 eq.	27,9	78,6	46,5	-37,1	-4,84	19,7	
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique	ODP	kg CFC-11 eq.	2,8E-06	6,3E-06	6,8E-06	3,2E-06	3,1E-07	5,6E-06	
Formation d'ozone photochimique	POCP	kg C2H4 eq.	0,115	0,0378	0,0589	0,00785	0,00276	0,0236	
Pollution de l'air	AIP	dam3	4,43	7,15	11,90	3,23	1,19	3,07	
Pollution de l'eau	WAP	m3	25,0	14,8	17,9	60,9	15,1	13,1	
Potentiel d'acidification du sol et de l'eau	AP	kg SO2 eq.	0,575	0,703	0,651	0,163	0,050	0,155	
Potentiel d'eutrophisation	EP	kg (PO4)3 eq.	0,737	0,129	0,121	0,160	0,311	0,0316	
Potentiel de dégradation abiotique des combustibles fossiles	ADPF	MJ	541	748	648	279	100	510	
Indicateur d'épuisement des ressources fossiles	ADPF	MJ	541	748	648	279	100	510	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable (PERT)	PERT	MJ	24,9	144	368	852	262	80,1	
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables MATIERE	PERM	MJ	9,80	74,9	170	638	256	49,9	
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables PROCEDE	PERE	MJ	16,9	68,9	197	214	6,63	30,2	
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable PROCEDE	PENRE	MJ	548	916	775	413	114	579	
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables MATIERE	PENRM	MJ	164	21	20,4	24,7	8,23	29,6	
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables	PENRT	MJ	726	936	796	439	123	608	
Utilisation de matière secondaire	SM	kg	0,560	1,42	1,87	5,64	16,2	5,50	
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	RSF	MJ	5,75	22,6	1,65	0,00	0,588	0,00	
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	NRSF	MJ	8,29	13,9	0,200	65,5	3,07	0,00	
Utilisation nette d'eau douce	WAC	m3	0,290	0,492	0,334	0,446	0,218	0,410	
Déchets dangereux éliminés	HWD	kg	0,200	0,836	0,381	0,315	0,160	0,393	
Déchets non dangereux éliminés	NHWD	kg	85,9	183	95,1	21,9	55,9	859	
Déchets radioactifs éliminés	RWD	kg	4,30E-03	4,97E-03	4,53E-03	6,60E-01	8,55E-04	4,35E-03	
Composants destinés à la réutilisation	CRU	kg	8,00E-06	3,58	118	0	3,53E-04	0	
Matériaux destinés au recyclage	MFRM	kg	133,6	3,92	35,3	39,9	2,05	0	
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	MER	kg	0,000918	0,00000423	0,00000423	15,6	10,6	0	
Energie fournie à l'extérieur	EE	MJ	0,677	0,00388	0,00757	302	17,4	0	

ANNEXE 11 : Exemple de l'impact carbone de 2 bâtiments (B4 et B5) participant à l'expérimentation E+C-

PERFORMANCES CARBONE



Abréviation :
PCE : Produits de Construction et Equipements - contributeur « composants »
CE : Consommations d'énergie - contributeur « énergie »
CRE : Consommations et Rejets d'Eaux - contributeur « eau »
Cha : Chantier – contributeur « chantier »
CVC : Chauffage, Ventilation et Climatisation
VRD : Voirie et Réseau Divers



ANNEXE 12 : Tableau récapitulatif des différents systèmes constructifs choisis pour les ACV

Système 1 : PSE + parpaing	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Enduit organique	mm	10	30	SNMI ¹	Collective (périmée en mars 2020)	30
Panneau de polystyrène expansé Cellomur	mm	131	50	Placoplatre	Individuelle	45,57
Parpaing blocs creux	mm	200	100	CERIB ²	Collective	47,35
Enduit plâtre Lutèce Gros	mm	10	30	Placoplatre	Individuelle	19,94

¹Syndicat National des Mortiers Industriels

²Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton

Système 2 : béton cellulaire	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Enduit minéral	mm	10	50	SNMI ¹	Collective (périmée en mars 2020)	30
Béton cellulaire	mm	365	100	Xella Thermopierre	Individuelle (périmée en juillet 2020)	81,99

Rapport de PFE – Nathan Letourneux

Enduit plâtre Lutèce Gros	mm	10	30	Placoplatre	Individuelle	19,94
------------------------------	----	----	----	-------------	--------------	-------

¹Syndicat National des Mortiers Industriels

Système 3 : Brique terre cuite + LV	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Enduit minéral	mm	10	50	SNMI ¹	Collective (périmée en mars 2020)	30
Brique terre cuite conventionnelle	mm	200	100	BL ²	Individuelle (périmée en mars 2020)	68,55
Rouleau laine de verre URSA TERRA	mm	96	50	URSA	Individuelle	11
Fourrure en métal Stil F530	ml	3	50	Placoplatre	Individuelle	12
Brique de cloison en terre cuite	mm	40	100	BL ²	Collective	36.71
Enduit plâtre Lutèce Gros	mm	10	30	Placoplatre	Individuelle	19,94

¹Syndicat National des Mortiers Industriels

² Boyer Leroux

Rapport de PFE – Nathan Letourneux

Système 4 : Paille en caisson	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Bardage douglas non traité	mm	17	40	Créabois	Collective (périmée en novembre 2019)	35
Lame d'air ventilée	mm	40	1000	/	/	
Bois d'ossature en résineux	..x..x..	3000x40x40	100	Créabois	Collective (périmée en novembre 2019)	20
Panneau pare-pluie en fibre de bois	mm	35	50	SOPREMA SAS	Individuelle	15
Poutre en I	ml	3	100	FCBA Apibois	Collective	
Remplissage en petites bottes de paille	mm	125	50	RFCP	Collective (périmée en juin 2020)	200
Frein vapeur hygro-régulant	m ²	1	50	SGI ¹	Individuelle	5,26
Lambris en douglas massif	mm	18	50	France Douglas	Collective	35

¹ Saint Gobain Isover

Système 5 : Paille enduite	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Enduit minéral	mm	30	50	SNMI ¹	Collective (périmée en mars 2020)	49
Remplissage en petites bottes de paille	mm	189	50	RFCP	Collective (périmée en juin 2020)	50
Charpente en résineux	..X..X..	45x145x2000	100	Créabois	Collective (périmée en novembre 2019)	100
Enduit terre	mm	35	10	Ministère de l'Ecologie	DED	10

¹Syndicat National des Mortiers Industriels

Système 6 : Pisé LC	Quantitatif		DVR	FDES		Prix déboursé sec HT (€/m ²)
	Unité	Valeur		Déclarant	Type	
Mur porteur en pisé non stabilisé de 50cm d'épaisseur	m ²	1	100	CEREMA	Collective	300 ¹
Laine de chanvre Biofib Trio	mm	113	50	Cavac biomatériaux	Individuelle	16.80
Fourrure en métal Stil F530	ml	3	50	Placoplatre	Individuelle	12
Pare-vapeur en polypropylène	m ²	1	30	Ministère de l'Ecologie	DED	5,26
Plaque de fermacell 12,5mm	mm	12,5	50	Hunton Fiber AS	Individuelle norvégienne	20

¹ 300€HT le m² d'un mur trumeaux en pisé contre 500€HT le m² pour un mur en pisé continu d'après <https://www.tera-terre.org/terre-et-territoires/>

Résumé

Nul n'est sans savoir que les années que nous vivons actuellement sont cruciales quant au choix que nous prendrons vis-à-vis du réchauffement climatique. Le secteur du bâtiment s'inscrit pleinement dans cette remise en question puisqu'il représente la majeure partie de nos consommations énergétiques et qu'il est responsable d'un quart de nos émissions de gaz à effet de serre.

L'écoconstruction et plus largement l'écologie apporte des réponses à cette problématique environnementale. Nous savons aujourd'hui construire sans compromettre le futur des générations à venir. Cependant, force est de constater que les systèmes constructifs respectueux de l'environnement ont du mal à se faire une place dans le panorama de la construction en France. Ce rapport traite de l'écosystème de l'écoconstruction. Il est évoqué dans un premier temps les éléments généraux du domaine (acteurs, normes, référentiels, etc.) avant de regarder plus spécifiquement la structuration des filières d'écomatériaux dans le Grand Ouest. En seconde partie il est question de la pratique d'ACV dans la construction. On verra que celle-ci montre bien le caractère moins impactant des systèmes « écoconstruits » mais que les résultats des ACV sont fortement influencés par les données d'entrée. Enfin, nous verrons comment Ecobatys s'inscrit dans ce paysage et quelles sont ses évolutions futures possibles.

Abstract

The major environmental issue of our world involves a total questioning of our lifestyle. The building industry is no exception because it's one of the main sources of pollution (waste, greenhouse gases, etc.) and consumes a lot of (fossil) energy.

Sustainable construction and ecology respond to that environmental issue. Nowadays, we know how to build without compromise the future of our children. This report tries to explain what the global context of bioconstruction is in France and more specifically in the West. The structuration of biobased sectors is being in process for some of them but not all. In the second part, some LCA are made to show how they can prove the eco-friendly side of those materials compared to conventional one. And finally, the role of Ecobatys in that landscape is studied and some strategies are given to ensure the development of the company.

