

Rapport Final

Bâtiments Biosourcés

Béton et Isolation



Elèves Ingénieurs IFB 5

BELASRI Leïla

NAVARRO Olivier

PESCHEUX SERGIENKO Julia

Sommaire

Introduction.....	2
1. Matériaux de construction.....	3
1.1. Historique.....	3
1.2. Situation actuelle des matériaux.....	4
1.2.1. La structure du bâtiment.....	4
1.2.2. L'isolation du bâtiment.....	5
1.3. L'alternative biosourcée.....	6
1.3.1. Le béton biosourcé.....	7
1.3.1.1. Bio bétons de chanvre.....	7
1.3.1.2. Bio bétons innovants.....	8
1.3.2. L'isolation biosourcée.....	8
1.3.2.1. Chanvre.....	8
1.3.2.2. Liège.....	10
1.3.2.3. Lin.....	11
1.3.2.4. Ouate de cellulose.....	13
1.3.2.5 Carton (IPAC).....	14
1.3.2.6 Textile recyclé.....	15
1.4. Comparatif de l'impact environnemental.....	16
1.4.1. Le béton biosourcé.....	17
1.4.2. L'isolation biosourcée.....	17
2. Etude du marché.....	18
2.1. Caractérisation du marché de la construction.....	18
2.2. L'environnement économique.....	21
2.3. Le contexte réglementaire et législatif.....	23
2.4.1. Les dispositifs législatifs.....	23
2.4.2. Réglementation, certification et assurabilité des matériaux.....	26
2.4. Diagramme de Porter.....	27
2.4.1. Diagrammes.....	27
2.4.2. Chaînes de valeur.....	29
3. Perspectives d'évolution.....	30
3.1. Les tendances du marché.....	30
3.2. Diagnostic stratégique : matrice SWOT.....	30
3.3. Scénarii.....	32
Conclusion.....	34
Bibliographie.....	36
Table de figures.....	38

Introduction

La construction suit nos sociétés dans son évolution. Depuis le simple abris contre les intempéries nos bâtiments ont gagné en fonctionnalité, en résistance et en confort. Nous leur avons toujours demandé de protéger, de stocker, d'accueillir. Cependant, au fur et à mesure que nous apprenons, nous exigeons de meilleures performances de ce qui nous entoure et les bâtiments n'y ont pas échappé. Nous souhaitons des constructions sûres, qui durent dans le temps, agréables à vivre qui réalisent tout cela avec un coût des plus faibles possibles. Il est aujourd'hui impossible de concevoir un fonctionnement de notre société sans bâtiments, nos maisons, nos écoles, lieux de travail et de loisirs, de rassemblement, de prises de décisions.

En vue de son importance, le domaine de la construction demeure une source d'intérêt inépuisable pour beaucoup d'industries et donc est ainsi en constante évolution. En effet, aujourd'hui afin de construire un bâtiments en ce qui concerne la structure, les matériaux utilisés, l'aménagement, les choix sont immenses. Dans ce rapport nous allons donc limiter notre étude à la structure et à l'isolation, ce sont ici deux point clés reliant la majorité des constructions.

Aujourd'hui, des prises de consciences et des convictions personnelles grandissantes au sein de l'opinion publique, soutenues par des réglementations de plus en plus strictes, poussent la construction à respecter plus fermement le développement durable. La tendance est donc de se tourner vers les matériaux biosourcés, aussi bien pour les clients individuels que pour les groupes industriels. En effet, nous passons du béton au béton biosourcé, de l'isolation synthétique à un retour vers les matériaux d'origine naturelle pouvant tout aussi bien satisfaire les exigences thermiques auxquelles doivent répondre ces composants.

Dans ce rapport nous allons donc essayer de voir la place qu'occupent réellement ces matériaux sur la marché de construction : s'agit-il d'une solution sérieusement envisageable afin de satisfaires les nouvelles attentes sanitaire et environnementale tout en offrant des performances énergétiques et financières convenables ? s'agit-il d'un effet de mode passager afin de satisfaire les clients les plus exigeants mais sans une potentielle prise de place sur la marché de manière durable?

1. Matériaux de construction

1.1. Historique

La construction, bien que ne faisant pas partie d'un besoin primaire de l'Homme à proprement parlé, nous accompagne depuis quasiment les débuts de notre Histoire. Les premières traces de constructions sont les établissements Natoufiens dans le Proche Orient datant de 8 000 ans avant JC.

En passant par des matériaux primitifs au début comme bois, feuillage, terre ou peaux d'animaux, l'humain apprend à les transformer afin d'en améliorer les performances mécaniques, les bâtiments sont plus résistants et solides, plus durables aussi. En Mésopotamie, le moulage de briques apparaît au 7^e millénaire avant JC, la structure des constructions est plus homogène et donc d'autant plus résistantes au chocs et au temps. L'évolution au niveau des matières premières, et inversement, ne pouvait pas se faire sans le progrès du côté des outils et des installations. En effet, les deux sont complémentaires et portés par les avancées scientifiques également. Nous pouvons par exemple citer la scie ou l'ingénierie hydraulique qui ont trouvé leur développement déjà dans l'Ancien Egypte.

Depuis, bien d'évolutions et de changements ont conduit à rendre les bâtiments de plus en plus résistants, ingénieux, créatifs et confortables. L'Histoire de la construction est passée par beaucoup de matériaux, beaucoup d'influences artistiques accompagnée par le développement de l'architecture et des industries. Les facteurs historiques et politiques ont également parfois joué un rôle assez important dans la poursuite

Le béton moderne connaît son essor au XIX^e siècle. Le béton est utilisé depuis l'Egypte Ancien et l'Empire Romain, il s'agissait d'un mélange de matériaux naturels tels que l'argile et le sable avec l'eau. C'est la découverte du ciment artificiel par Louis Vicat en 1818 qui sera à l'origine de l'expansion de ce matériau. Son association avec des armatures en métaux amène au béton armé, celui-ci suscitera de très nombreux intérêts, de part sa simplicité de mise en oeuvre et sa résistance. Il sera considéré comme matériau classique de construction au début du XX^e siècle.

Suite à la Seconde Guerre Mondiale, la Reconstruction amène de nombreux projets de recherches dans le domaine de la construction. Le but est de trouver d'innover les moyens techniques afin de permettre des chantiers plus efficaces en gagnant du temps mais tout en étant adaptés à une main d'oeuvre souvent peu qualifiée. La préfabrication en béton va donc trouver sa place parmi les solutions adoptées. Cela facilitera d'autant plus la l'utilisation du matériau et explique en partie son succès auprès des constructeurs.

Le développement de l'isolation vient quant à lui plus tard. Cette préoccupation est notamment amenée par les chocs pétroliers des années 1970. Les effets des années 1973 et 1979 provoquent, entre autres et surtout, une instabilité monétaire qui conduit à une tendance générale à réduire ses dépenses. Ceci touche effectivement les consommations directes quotidiennes mais aussi des investissements sur un long terme comme la consommation énergétique des habitations. L'enrichissement générale des sociétés occidentales dans les années qui suivent permet davantage au confort de trouver sa place parmi les facteurs clés de ce qui est considéré comme étant un bon bâtiment. Ainsi, l'intérêt

pour l'isolation va faire développer industriellement ce secteur. On voit notamment les mousses expansives, étant pourtant connues depuis le début du XXe siècle, être utilisées en tant qu'isolant.

Dans les années 1980 que les labels sur les performances énergétiques des bâtiments voient le jour suivies de réglementations thermiques et sonores des constructions. Ces réglementations vont d'autant plus appuyer sur l'importance du secteur de l'isolation et donc sur l'intérêt portés par les industries.

1.2. *Situation actuelle*

1.2.1. **La structure du bâtiment**

Aujourd'hui, le béton de ciment est l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction, environ $\frac{2}{3}$ des constructions mondiales en utilisent. En terme de volume il s'agit du deuxième matériau le plus utilisé après l'eau, avec environ 1m^3 par an et par habitant.

D'autres matériaux sont également utilisés pour la structure des bâtiments comme les briques, les pierres, le bois, des constructions en carton ou en tissus ont également vu le jour. Cependant tous ces matériaux perdent en compétitivité par rapport au béton lorsque sont combinés les facteurs de rapidité de la construction, de la fabrication et l'utilisation du matériaux, sa résistance et son prix.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Le béton est un mélange de ciment, sable, graviers et d'autres éventuels adjuvants. Le ciment est un liant formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte homogène et plastique. Un ciment est dit naturel lorsqu'il résulte de la simple cuisson à température modérée (500 à 1 200 °C) d'une marne ou d'un calcaire argileux (ciment prompt, ciment romain, et les premiers ciments Portland sont des ciments naturels) . Il est dit artificiel lorsqu'il résulte de la cuisson à plus haute température (1 450 °C) d'un mélange moulu de calcaire, de marne ou d'argile.

Le béton de ciment peut être associé à de l'acier afin d'obtenir le béton armé ou bien encore à des fibres (synthétiques ou métalliques), il permet ainsi d'obtenir du béton fibré. Ces additifs permettent, suivant leur nature, d'améliorer les propriétés de résistance, de prévention de fissures. Sans ajouts de graviers, le béton porte le nom de mortier.

Le béton est généralement moulé pour faire des parpaing ou projeté pour faire des dalles, ou remplir des tranchées pour des fondations par exemple. Le moulage est l'une des propriétés les plus intéressantes du béton, en effet il est ainsi possible de créer toutes sortes de formes uniques ou parfaitement identiques entre elles.

1.2.2. L'isolation du bâtiment

Aujourd'hui de nombreux matériaux sont utilisés pour l'isolation, les plus importants sont d'origine synthétique. Il s'agit de la laine de verre et des mousse expansées.

▣ Laine de verre :

La plupart des matériaux isolants cherchent à rendre l'air immobile car ainsi il possède un excellent pouvoir isolant. Grâce à leur enchevêtrement de fils de verre qui génèrent une multitude de petites cavités où l'air est emprisonné et immobile, les laines de verre ont un fort pouvoir isolant avec un minimum de matière. La nature fibreuse du matelas de la laine de verre permet par ailleurs de conserver suffisamment de souplesse pour assurer un parfait calfeutrement des ouvrages.

▣ *Fabrication et mise en oeuvre:*

L'élaboration de la laine de verre exige des soins tout particuliers : contrôle physico-chimique, et mélange parfaitement homogène de sable ou de verre recyclé (calcin). Cette composition est introduite dans un four verrier fonctionnant soit au gaz, soit à électricité. En sortie du four, le verre en fusion s'écoule à une température d'environ 1 050 °C pour alimenter les têtes de fibrage. Les fibres résultent du passage du verre au travers des trous d'une couronne métallique, «assiette», animée d'un mouvement de rotation extrêmement rapide, un peu comme pour la fabrication de la barbe à papa. Après ce premier étirage horizontal par centrifugation, les fibres sont étirées verticalement sous l'action thermique et mécanique d'une couronne de brûleurs. Les fibres sont rapidement refroidies avec de l'air. Après pulvérisation d'un liant (encollage), elles sont collectées par aspiration sur un tapis pour former un matelas de laine. Ce matelas traverse une étuve où un courant d'air chaud assure la polymérisation du liant et le rend stable. Pour certains produits, des revêtements sont collés ou cousus sur la laine de verre.

Le matelas ainsi obtenu est directement utilisable sur les parois à isoler. Il peut être facilement découpé et sa faible masse facilite d'autant plus son utilisation. Ce matelas est vendu sous forme de rouleau ou bien de plaques prédécoupées.



Figure 1 : Laine de verre en rouleau, revêtement en aluminium (Source : www.e-sfic.fr)

▣ Mousses expansives :

Les mousses expansives trouvent leur place dans le secteur de l'isolation surtout grâce à la simplicité d'utilisation de celles-ci.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Le polystyrène expansé (PSE) est obtenu par mélange d'un gaz et de PS cristal. Avant les préoccupations pour la couche d'ozone, on utilisait le fréon, un gaz CFC (chlorofluorocarbone), remplacé depuis les années 1990 par du butane ou du pentane. Des transformateurs introduisent les perles de PS cristal dans des pré-expandeurs. Sous l'action de la température et de la pression de vapeur d'eau, le gaz d'expansion les fait gonfler jusqu'à cinquante fois leur volume initial. Les perles, expansées et stabilisées, sont ensuite introduites dans des moules en forme de blocs pour une découpe ultérieure en panneaux ou directement à la forme de la pièce finie. Là, à nouveau sous l'effet de la température et de la pression de vapeur d'eau, les perles expansées s'agglomèrent en une pièce moulée.

On peut également utiliser le polyuréthane dans ces mêmes conditions.

Cet isolant est généralement projeté contre les surfaces visées. Suivant l'emplacement il est possible de trouver des appareils adaptés au niveau de la puissance et de la taille du jet. L'excédent de la matière est coupé.



Figure 2 : Exemple d'application de mousse expansive sur une paroi verticale

1.3. *L'alternative biosourcée*

La situation écologique pousse de plus en plus d'acteurs à se tourner vers des matériaux et des techniques qui soient en accord avec le développement durable. L'opinion publique devient de plus en plus de cet avis, cela pousse donc les clients à se soucier de l'impact écologique des bâtiments qu'ils construisent et les industries à revoir leur approche

du marché. Ce changement est d'autant plus porté par les réglementations locales, nationales ou internationales prises afin de limiter les empreintes écologiques du à la fabrication des matériaux ou bien leur utilisation.

Cette diminution de l'empreinte s'appuie sur plusieurs facteurs. Les matériaux naturels sont bien moins énergivores au moment de la production. De plus, leur propriété biodégradable permette des considérations de fin de vie des matériaux bien plus respectueux de l'environnement qu'actuellement. Enfin, durant leur cycle de vie intervient l'effet le plus attractif de ce type de matériaux, ces derniers vont piéger et stocker du CO2 limitant ainsi le bilan global d'émissions de gaz à effet de serre de la production et construction.

1.3.1. Le béton biosourcé

1.3.1.2. Bio bétons de chanvre

L'alternative la plus considérée pour le béton de ciment est le béton à base de chanvre. La France est le premier producteur de chanvre en Europe ainsi l'utilisation de la chènevotte (coeur de la paille de chanvre) est largement considérée comme source de matière première naturelle. Il y a donc en France un nombre relativement grand de fabricant de bio béton de chanvre qui développent également des éléments préfabriqués.

Les principaux fabricants identifiés en France sont : Chanvribloc, Chanvra et Vieille Matériau.

L'intérêt particulier du bio béton vient du fait que ses propriétés thermiques et mécaniques sont semblables à celles du béton classique tout en ayant un prix attractif et un bilan carbone favorable.



Figure 3 : Parpaings de béton biosourcé de chanvre (Source : bloc-biosys.fr)

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Les bétons et mortiers de chanvre sont obtenus par le mélange de béton de ciment avec de la chènevotte. Ils bénéficient d'une importante porosité qui leur confère des performances thermiques et hygrométriques intéressantes, en construction et en rénovation. Les blocs sont fabriqués par moulage à froid. Le séchage s'effectue à l'air libre et est maîtrisé pour optimiser l'apport de liant.

Son utilisation concrète est semblable à celle du béton de ciment classique, il est coulé, moulé ou bien projeté contre des surfaces. Le bio béton de chanvre peut aussi être utilisé comme enduit.

Caractéristiques techniques					
Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique $R=3,5 \text{ m}^2.K/W$	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
béton	250 à 800	0,06 à 0,14	30 à 40	bien	8 à 13
blocs	300	0,075			1 à 5

(sources : fiches techniques matériaux fabricants, FDES / INIES)

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du béton biosourcé

1.3.1.2. Bio bétons innovants

De nouveaux bio bétons sont à l'état de projet à l'heure actuelle et sont encore en étude. L'idée est d'utiliser d'autres matériaux naturels comme de la paille de lin, du liège, de colza ou du miscanthus à la place du chanvre pour apporter le même rôle voire développer des propriétés et performances d'autant plus intéressantes.

Des combinaisons de fibres ou encore des bétons auto-régénérants (en faisant intervenir des champignons) sont également mentionnés dans certains projets de recherches.

1.3.2. L'isolation biosourcée

1.3.2.1. Chanvre

La France se positionne comme le premier cultivateur de chanvre en Europe. On retrouve des acteurs pionniers comme La Chanvrière de l'Aube et Eurochanvre mais aussi des structures plus récentes telles que Cavac Biomatériaux, Planète Chanvre, Agrochanvre, GatiChanvre, Technichanvre, Chanvre Poitevin. Certains de ces acteurs se retrouvent également dans le secteur du béton biosourcé.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Après le fauchage, la paille de chanvre est laissée en andains sur le lieu de la récolte avant de procéder au fanage. Lorsque la paille atteint un taux d'humidité de 14-18 % elle est défibrée mécaniquement pour séparer les fibres du cœur de la tige (chènevotte). La fibre est ensuite cardée pour obtenir la filasse de chanvre en vrac. Ces fibres sont ensuite mélangées avec un liant (polyester) à hauteur de 15 % pour maintenir l'ensemble, puis plaquées les unes aux autres pour obtenir un matelas. Une cuisson au four permet aux fibres de se coller entre elles. Les faibles densités forment des rouleaux, les plus fortes, des panneaux. Ainsi est obtenue la laine de chanvre.

L'isolation à base de chanvre s'utilise au niveau des toitures, combles perdus et planchers. Lorsque l'architecture le permet, la laine est découpée puis mise contre les surfaces à isoler. Lorsque des caissons ou encore dans les cavités où l'emploi de panneaux s'avère impossible sont rencontrés alors est utilisée la filasse en vrac.

La mise en place doit intervenir dans des endroits sains, secs et ventilés. Elle peut s'effectuer sous forme d'enduit intérieur en tant que correcteur thermique, notamment dans le bâti ancien. A sec ou après trempage, dans un mortier fluide de chaux, d'argile ou de plâtre, c'est une solution idéale pour combler les petites anfractuosités, pour le calfeutrage des menuiseries et des fissures. Mélangée à de la chaux, elle est adaptée pour combler des fissures de plusieurs cm, dans l'habitat de type troglodytique.

Caractéristiques techniques					
Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique $R=5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
panneaux	20 à 60	0,038 à 0,042	20	mauvais	1 à 2
rouleaux			non approprié		
filasse	15	0,06			
chènevotte	90 à 115	0,048 à 0,06			

(sources : fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 2 : Caractéristiques techniques du chanvre



Figure 4 : Laine de chanvre



Figure 5 : Filasse de chanvre

1.3.2.2. Liège

En France, le liège est produit en Corse, dans le Var et dans les Pyrénées Orientales. Il est issu du chêne liège dont les récoltes s'effectuent tous les 10 ans environ. La première couche de l'écorce, plus dure et irrégulière est réservée à l'isolation. Les couches suivantes sont utilisées pour la fabrication des revêtements de sol.

Le liège peut être utilisé brut, appelé liège blanc, ou expansé, appelé liège noir. Il est le seul isolant d'origine végétale qui soit imputrescible, même en situation humide prolongée. C'est un excellent support d'enduit.

▣ Liège blanc :

▣ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Le liège naturel est simplement égrené afin d'obtenir un matériau en vrac pour épandage. Il entre également dans la composition des bétons et enduits allégés.

Le liège blanc en vrac est mis en œuvre par épandage en tant que matériau de remplissage isolant. Mis en œuvre sous forme de béton ou enduits allégés, il permet d'obtenir un certain pouvoir isolant thermique et phonique.

Le liège en vrac peut également être aggloméré avec une colle naturelle à base de subérine (résine d'arbres) afin de constituer des rouleaux de matelas isolants.

Le liège blanc en rouleaux est idéalement utilisé en tant que sous-couche préalable à la pose d'un parquet flottant ou bois stratifié, parquet massif collé, linoléum ou vinyle collé ou encore moquette. Il permet d'absorber les bruits d'impact et les sons aériens. Le liège appliqué en sous-couche est compatible avec un plancher chauffant. Il est également adapté aux salles de bains.

▣ Liège noir :

▣ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Le liège expansé, est réalisé à partir du liège blanc égrené, puis passé en autoclave à 300°. Grâce à sa résine naturelle (subérine), les granules s'agglomèrent sans additif complémentaire pour former un bloc compact, offrant des qualités isolantes phonique et thermique. Le liège obtenu est ensuite façonné sous forme de panneaux, lesquels présentent de grandes qualités de résistance à la compression et d'insensibilité à l'humidité.

Les panneaux de liège expansé sont appropriés pour être mis en œuvre dans des environnements difficiles à isoler comme les sols, les toitures terrasses, les soubassements. Son utilisation est également adaptée à l'extérieur dû à son caractère imputrescible

Les chutes sont broyées pour obtenir des granules en vrac, utilisées en tant que remplissage isolant (plus performant que le liège blanc) ou dans la fabrication de béton allégé.

Caractéristiques techniques

Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique $R=5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
liège blanc vrac	177	0,042	21	moyen	NR
liège blanc panneaux	260				
liège blanc rouleaux	150 à 220	0,038 à 0,042	NC		
liège noir expansé en vrac	60 à 80	0,038 à 0,045	21 à 23	moyen	1 à 5
liège noir expansé panneaux	105 à 130	0,04	22		20

(sources : fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 3 : Caractéristiques techniques du liège



Figure 6 : Rouleau de liège



Figure 7 : Panneau de liège expansé

1.3.2.3. Lin

Originnaire d'Orient, le lin est cultivé depuis des siècles pour ses fibres et ses graines oléagineuses. Cultivé principalement dans le nord de la France (Normandie, Nord-Pas de Calais, Picardie), le lin en France concentre 80 % de la production européenne. Sa culture est particulièrement écologique car elle nécessite peu d'eau, d'engrais ou de traitement phytosanitaire.

Les fibres de lin possèdent un excellent pouvoir isolant thermique et phonique en raison de leur structure micro-poreuse ainsi qu'à l'air emprisonné entre les fibres. L'huile de lin produite par pressage des graines est particulièrement appréciée en écoconstruction en raison de son pouvoir siccatif (séchage rapide). Elle entre dans la formulation de peintures naturelles où elle remplace certains solvants dérivés du pétrole. Elle est également utilisée pour la protection et l'entretien des boiseries extérieures, sols en terre cuite et entre dans la composition du linoléum, revêtement de sols d'origine naturelle.

□ Fabrication et mise en oeuvre :

Elles peuvent être utilisées en vrac comme isolant de remplissage, les formes les plus couramment utilisées étant les panneaux semi-rigides ou les rouleaux. Elles entrent également dans la texturation d'enduits de finition.

Après défibrage, les fibres de lins sont thermoliées, à l'aide d'un liant naturel ou synthétique puis le mélange est complété d'un produit ignifuge et anti-parasitaire, tel que le sel de bore ou le silicate de sodium, pour donner forme à des panneaux semi-rigides ou des rouleaux. La laine de lin se présente également sous forme de feutre : produit non tissé naturel, réalisé à partir de la fibre courte qui est cardée, nappée puis aiguilletée.

Les déchets de défibrage de la tige de lin appelés «anas» entrent dans la composition des panneaux de particules de bois agglomérées. Plus longs et plus légers que les particules de bois, les anas de lin permettent d'obtenir un matériau plus souple, qui résiste mieux qu'un panneau traditionnel de particules de bois.

Planchers, combles, toitures, cloisons, murs à ossature bois intérieurs ou extérieurs : L'utilisation de panneaux ou de rouleaux de lin est adaptée pour les plancher, les combles, les toitures, les cloisons et murs aussi bien intérieur qu'extérieur.

En pose verticale, les panneaux semi-rigides peuvent être doublés pour renforcer l'isolation phonique des murs et cloisons intérieurs. Les feutres (rouleaux de laine dense et fine) sont utilisés comme sous-couche d'isolant phonique pour les planchers.

Caractéristiques techniques

Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique $R=5 \text{ m}^2.K/W$	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
laine ou ouate de lin panneaux, rouleaux	20 à 40	0,035 à 0,038	17 à 20	mauvais	1 à 2
feutre de lin	300	0,047	NC		
anas de lin	30	0,037	20	NR	

(sources : fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 4 : Caractéristiques techniques du lin



Figure 8 : Rouleau et panneaux de laine de lin (Source : Iso-Techna)

Particulièrement respectueux de l'environnement, les panneaux à base d'anas de lin sont aujourd'hui fabriqués en France. Des expériences sont en cours, afin de mettre au point un béton allégé chaux-anas de lin ou bloc en béton de lin isolant, sur le modèle du béton et des blocs de chanvre réalisés à partir de la chènevotte.

1.3.2.4. Ouate de cellulose

Il existe deux types de ouate de cellulose en fonction de l'origine du produit: la ouate de cellulose papier et la ouate de cellulose carton. La ouate de cellulose est un produit issu de l'économie circulaire. Nous pouvons citer les acteurs français majeurs de ce secteur : Isocell (Cellaouate et Ouattitude), France Igloo Cellulose, Ouateco, Suprema, Idem et Cavac Biomatériaux.

▣ Ouate de cellulose papier :

La ouate de cellulose papier est obtenue à partir de papiers recyclés, de journaux non utilisés, de chutes de papier neuf d'imprimerie ou encore de boues papetières.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Le papier est défibré et réduit en flocons, puis stabilisé par incorporation de divers agents de texture et ignifugeant, variables selon les fabricants (gypse, sel de bore, sel de sodium, de calcium, bauxite, phosphate d'ammonium).

Pour les combles, sols et plafonds, les flocons de ouate (état sec) sont soufflés à 30-40 kg/m³ pour un remplissage intégral sur des surfaces horizontales. Une solution d'eau + 5 % de colle cellulosique est ensuite appliquée pour stabiliser la ouate.

Pour les toitures (parois inclinées), la mise en oeuvre se fait par injection à 40-60 kg/m³ des flocons de ouate (état sec) ou insufflation sous pression dans des caissons étanches préalablement installés. Il est possible de travailler avec des freins vapeur armés et transparents pour conserver une visibilité.

En ce qui concerne les parois verticales comme les murs, l'isolation avec des flocons de ouate peut se faire de plusieurs manières :

- par projection (état humide), la ouate est ensuite nivelée, puis recouverte de panneaux de finition (type fermacell; bois...);
- par injection à 60 kg/m³ des flocons de ouate (état sec);
- par positionnement de panneaux semi-rigides ne nécessitant pas de fixation particulière (peuvent s'appliquer également en pose horizontale et sous rampants de toiture).

▣ Ouate de cellulose carton :

La ouate de cellulose carton provient à 85 % de cartons recyclés. Ces performances techniques sont comparables à celles de la ouate de cellulose papier mais sa production est

moins coûteuse en énergie grise (énergie effectivement utilisée durant le cycle de vie d'un produit) et nécessite moins de produits chimiques.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

L'ouate de cellulose carton peut être utilisée comme isolant thermique et phonique destinée à l'isolation des planchers, toitures, murs et combles.

Le carton de récupération est trié, broyé, défibré puis traité à base de produit ignifugeant et antifongique pour apporter à la ouate une résistance aux moisissures, aux rongeurs et au feu. Elle se présente sous forme de flocons.

Pour les combles, sols et plafonds, la mise en oeuvre se fait par soufflage pneumatique à 30-40 kg/m³ sur la surface d'un plancher ou entre solives et solivettes d'un plafond suspendu à ossature apparente.

En application sur des parois verticales, deux méthodes peuvent être utilisées :

- par insufflation à 50-65 kg/m³, en injectant sous pression la ouate, dans une cavité de la paroi, à l'aide d'une machine pneumatique, derrière soit un parement souple (ex pare vapeur) soit un parement rigide (ex parement bois);
- par projection humide à 50-65 kg/m³, en appliquant sous pression de la ouate associée à une faible quantité d'eau, à l'aide d'une machine pneumatique entre les montants de la paroi.

L'excédent de matière est arasé à l'aide d'un rouleau brosse d'égalisation.

Caractéristiques techniques

Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique R=5 m ² .K/W	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
ouate de cellulose papier	35 à 60	0,039 à 0,042	20 à 21	bien	1 à 2
ouate de cellulose carton	35 à 57	0,043	20 à 22	moyen	1

(sources : CMA Centre-Val de Loire, fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 5 : Caractéristiques techniques de la ouate de cellulose

1.3.2.6. Carton (IPAC)

La société française Bat'ipac propose des solutions de construction et d'isolation de bâtiments à partir de carton ondulé triple cannelures issu du recyclage à 100 %.

□ *Fabrication et mise en oeuvre :*

Ce produit est constitué de plaques composées de feuilles de carton recyclé collées les unes aux autres pour former une épaisseur allant de 5 cm à 25 cm, recouvertes d'une

membrane étanche à l'eau et à l'air (polyester ou Akilux). Une colle à l'amidon de maïs ou de blé est utilisée pour les cannelures et une colle blanche à base de cellulose pour coller les feuilles entre elles.

Il peut constituer les murs périphériques structurels (contreventements), les toitures (toits en pente ou plats), les planchers, les cloisons de distribution, le doublage extérieur ou bien être utilisé comme composant d'isolation.

1.3.2.5. Textile recyclé

En France, le textile recyclé provient de chutes neuves de l'industrie textile, de textiles d'emballage usagés, de vêtements usagés collectés et triés (source principale). Les volumes d'isolants en laine de textiles recyclés fabriqués en France oscillent entre 2000 et 3000 tonnes/ an, alors que les capacités de fabrication sont actuellement de 5000 tonnes/an, prouvant la capacité de développement de cette filière de fabrication issue de l'économie sociale et solidaire.

Ce matériau est notamment utilisées pour la fabrication de feutres d'isolation pour l'industrie automobile, son utilisation pour en tant qu'isolant pour les bâtiments est une filière en développement.

Les principaux fabricants d'isolants à partir de textile recyclés en France : Le Relais, Buitex Industries, Isocomble et Cavac Biomatériaux.

□ Fabrication et mise en oeuvre :

La laine de coton ou de textiles recyclés proviennent majoritairement de fibres de textiles usagés, qui sont défibrés ou effilochés, auxquelles on ajoute des textiles synthétiques (polyamide, polyester, acrylique) et des liants sous forme de fibres polyester. La laine est lavée, effilochée, puis ignifugée et traitée contre les rongeurs, insectes et moisissures.

Les isolants à base de textiles recyclés se trouvent sous forme de panneaux, de rouleaux ou directement en vrac.

Pour les toitures, les parois verticales et les planchers, l'isolation se fait par utilisation de panneaux ou rouleaux, la pose se fait traditionnellement entre les montants de l'ossature, sans fixation particulière. Afin d'assurer la sécurité au feu au niveau d'une cheminée, un écran thermique protecteur doit être installé.

En cas d'isolation de combles et planchers, l'application se fait par soufflage comme de la ouate de cellulose, ou simplement par un épandage à la main.

Caractéristiques techniques					
Matériaux	Densité	Conductivité thermique (λ en W/m.K)	Epaisseur pour une résistance thermique $R=5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	Résistance au feu matériau nu	Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)
panneaux rouleaux	18 à 60	0,037 à 0,046	18 à 23	moyen	2 à 3
vrac	13 à 35	0,042 à 0,05	21 à 30	mauvais	1 à 2

(sources : FDES/INIES, fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 6 : Caractéristiques techniques du textil recyclé

1.4. Comparatif de l'impact environnemental

Biodégradables, en particulier lorsqu'ils ne présentent pas de liants pétrochimiques ou de traitements pour la conservation des matériaux, certains matériaux biosourcés présentent de nombreux avantages en fin de vie : rendus à la terre, ils contribuent à la régénération des sols, et mis en décharge, ils produisent du biogaz utilisé comme source d'énergie verte. De plus, tout au long de leur cycle de vie, ils agissent comme réservoir à gaz à effet de serre, ainsi le bilan carbone est souvent favorable, voire négatif.

Le fait d'être une ressource renouvelable est également l'un des points forts d'intérêt portés aux matériaux biosourcés.

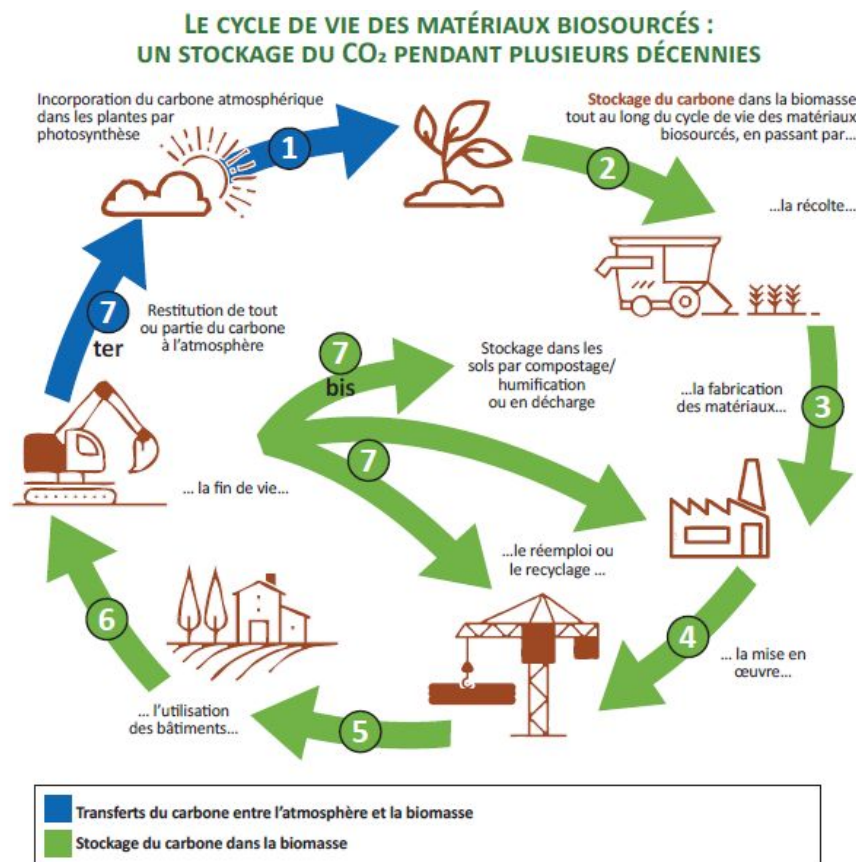


Figure 9 : Cycle de vie des matériaux biosourcés (Source : DHUP)

Par la suite sont présentés les performances énergétiques des matériaux biosourcés comparés à leur correspondants classiques.

1.4.1. Le béton biosourcé

Le béton biosourcé permet effectivement de capter du dioxyde de carbone et de le stocker. En effet, les végétaux présents captent naturellement le CO₂ de l'air, la chaux récupère sur le long terme une partie du CO₂ libéré pour sa fabrication.

Nous remarquons également que les blocs de bio-béton sont plus intéressants dans ce sens que le béton coulé.

Matériaux	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
béton	-0,34	partiellement	recyclable
blocs	3		

(sources : fiches techniques matériaux fabricants, FDES / INIES)

Tableau 7 : Performances du béton biosourcé

1.4.2. L'isolation biosourcée

Tout comme dans le cas du béton biosourcé, les matériaux naturels utilisés pour l'isolation captent naturellement le CO₂ de l'air, ce gaz est partiellement stocké ce qui permet de compenser une partie des GES émis. De plus, la production de matériaux naturels est bien plus "saine" qu'une production synthétique, cela allège d'autant plus le bilan carbone final.

▣ Le chanvre:

Matériaux	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
panneaux, rouleaux	-34 à -0,78	80 %	partiellement (liants, adjuvants)
filasse		100 %	biodegradable, recyclable, réutilisable
chênevotte			

(sources : fiches techniques matériaux fabricants, BAUBOOK)

Tableau 8 : Performances du chanvre

▣ Ouate de cellulose :

Matériau	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
ouate de cellulose papier (pas de donnée pour le carton)	-5,3 à -10	75 % à 85 %	biodegradable, recyclable, réutilisable

(sources : BAUBOOK, CMA Centre-Val de Loire et fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 9 : Performances de la ouate de cellulose

▣ Le textile recyclé :

Matériaux	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
laine de textile recyclé	5,5 à 2	partiellement	biodegradable, recyclable, réutilisable, déchet inerte

(sources : FDES/INIES, fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 10 : Performances du textile recyclé

▣ Le lin :

Matériaux	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
lin en vrac	0,6 kg eq CO ₂ (liant naturel)	100 %	recyclable en compost pour les produits à base de liant naturel, valorisation énergétique pour les autres
laine ou ouate de lin panneaux, rouleaux		partiellement	
feutre de lin	1,8 kg eq CO ₂ (liant polyester)	100 %	
anas de lin		partiellement	

(sources : fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 11 : Performances du lin

▣ Le liège :

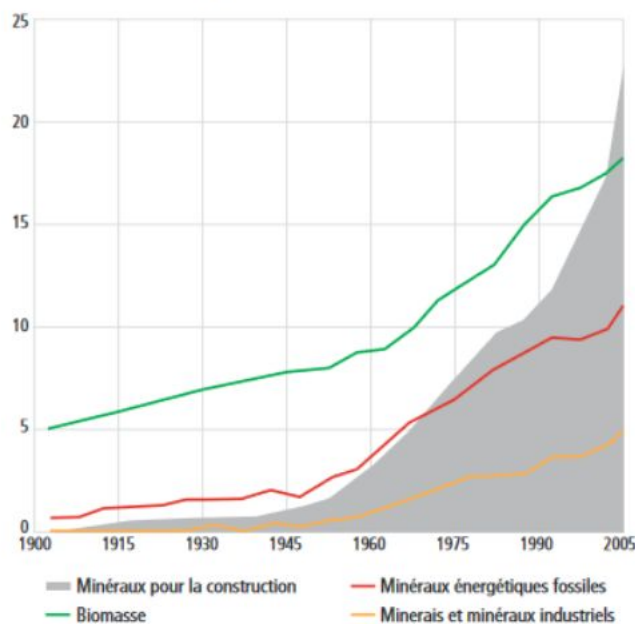
Matériaux	GES (kg eq CO ₂ / UF)	Resource renouvelable	Biodégradabilité
liège blanc en vrac	NR	100 %	réutilisable, recyclable
liège blanc panneaux, rouleaux			
liège expansé vrac	-22	100 %	
liège expansé panneaux, rouleaux			

(sources : BAUBOOK, fiches techniques matériaux fabricants)

Tableau 12 : Performances du liège

2. Etude du marché

2.1. Caractérisation du marché de la construction



Source : Élaboré par l'auteur à partir de *Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century.* – Krausmann and al., 2009

Figure 10 : Evolution de l'utilisation mondiale de matériaux de 1900 à 2005 (en Gtonnes)

La hausse de la consommation de matériaux dans le monde ne cesse de suivre la tendance qu'elle avait durant la période présentée ci-dessus. Nous remarquons d'ailleurs que le secteur de la construction est celui qui possède une tendance d'augmentation plus prononcée que les autres secteurs. Aujourd'hui ce secteur utilise près de 50% des matières premières. Le béton est, après l'eau, la matière la plus consommée dans le monde avec 3 Milliard de tonnes en 2010 et aujourd'hui proche de 7 Milliard de tonnes. La seule production de ciment génère environ 5 % à 7% des émissions mondiales de CO₂eq et sa production a augmenté de 80 % en 10 ans et pourrait être multipliée par 3 d'ici 2050.

La construction durable est donc confrontée à une opposition entre son pilier social – qui exige de construire plus – et son pilier environnemental – qui demande à limiter la production de matériaux. Deux démarches sont en mesure d'apporter des réponses: la première, l'économie circulaire, prône le réemploi des matériaux et le recours aux produits recyclés; la seconde, la bioéconomie, a pour objet de substituer de la biomasse aux ressources minérales.

Face à des exigences contradictoires – construire plus avec moins d'impacts environnementaux et socio-économiques, les matériaux de construction biosourcés sont en mesure d'apporter un ensemble de réponses tant directes (stockage du carbone, consommation d'énergie grise, « renouvelabilité » des matières premières) que indirectes

(efficacité énergétique, confort, santé, etc.). Ils sont aussi des vecteurs de développement local, de création d'emplois et de limitation des transports. Ils doivent être considérés dans une approche globale des bâtiments et des territoires.

Les figures suivantes permettent de chiffrer les données relatives aux matériaux biosourcés dans le secteur global du bâtiment.

Part des matériaux biosourcés (ou crus) par élément de construction	Aujourd'hui	Demain	2010	2025	2050	Commentaires
Fondations	Béton	Pierre, verre cellulaire, fondations vissées	0 %	5 %	10 %	Dans certains cas, le béton peut être remplacé par des radiers isolants, du ballast
Soubassement	Béton Parpaing	Pierre, parpaings isolants, ballast	0 %	10 %	20 %	
Isolants	Ouate Laine de verre Laine de roche PSE + PSX PUR	Ouate Laine chanvre, bois, mouton Pailles Plumes Liège	2 %	20 %	50 %	Les isolants biosourcés peuvent remplacer leurs concurrents en dehors des usages en milieu humide
Dalles	Béton Terre cuite	Bois Terre crue	2 %	10 %	30 %	Les dalles en bois offrent des portées comparables à celles en béton
Murs extérieurs	Béton, parpaing, terre cuite, bois ossature métal	Bois Pailles Briques et bétons végétaux	2 %	10 %	50 %	Les murs extérieurs ont une fonction isolante essentielle, il est pertinent de les réaliser avec des matériaux peu conducteurs.

Tableau 13 : Prévisions du taux de substitution pour les matériaux biosourcés
(Source : TERRACREA)

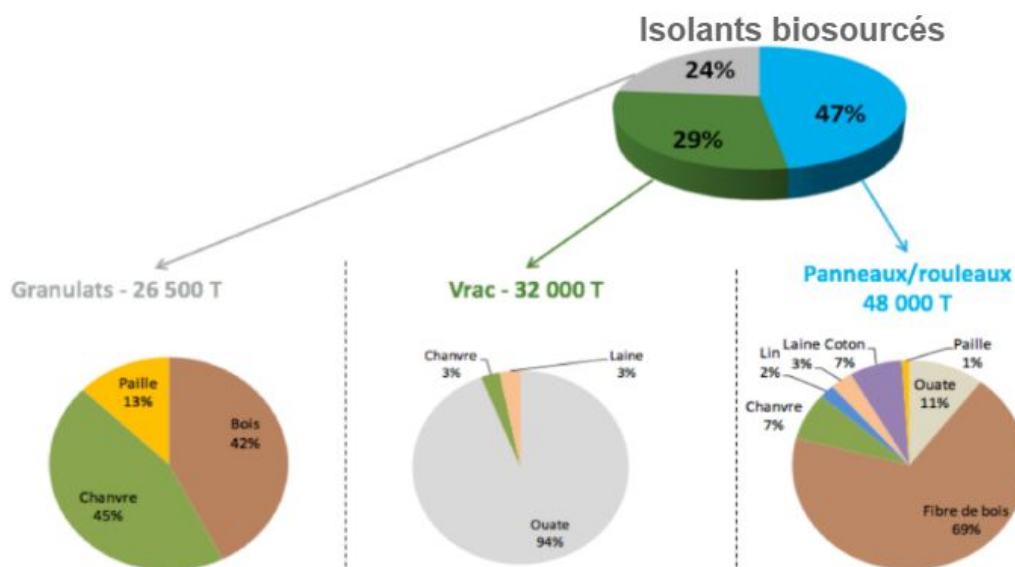


Figure 11: Répartition en masse des matériaux biosourcés isolants (Source : TERRACREA)

2.2. L'environnement économique

Le secteur de la construction en France occupe une place très importante dans la vie économique du pays. En effet, le secteur du bâtiment représente en France 382 000 d'entreprises, plus d'un million de salariés et une valeur ajoutée de 108,3 milliards d'euros en 2014, soit 5 % du PIB du pays. Le marché européen du BTP est dominé par les entreprises françaises, 4 des 10 premières entreprises européennes étant françaises. C'est un secteur qui est très actif et qui n'est pas prêt de ralentir, soutenu par le plan d'investissement pour le logement de 2013 qui avait fixé les objectifs de construction de 500000 logements par an et de rénovation de 500000 logements par an d'ici à 2017. Pour l'illustrer davantage, en région parisienne, pôle qui est très urbanisé, le Schéma Directeur de la Région Île-de-France (SDRIF) et la loi «Grand Paris» ont prévu la construction de 70000 logements par an entre 2005 et 2030.

Qu'en est-il des matériaux de constructions ?

La France héberge de nombreuses ressources qui peuvent lui permettre d'être des concurrents dominants en terme de construction biosourcée. En effet, la surface agricole française représente encore aujourd'hui plus de 50% de la surface du territoire et la surface forestière 30%. Les ressources forestières du pays le placent aux 3e rang européen, la France disposant de 17 millions d'hectares répartis entre propriétaires essentiellement privés (75 % de la surface forestière). Bien que grande puissance agricole, l'agriculture ne représente que 1,7 % du PIB du pays et 3% de la population active en 2013-2014.

La France a annoncé en avril 2015 au cours du Plant Based Summit, le congrès international dédié aux produits biosourcés, son intention d'établir une stratégie nationale de

déploiement de la bio-économie(publication 2016). Et peu avant, en 2013, le Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER) a estimé que l'équivalent de 4 à 6 millions d'hectares agricoles et forestiers pourraient être affectés à la production de bio-énergie, biomatériaux et chimie verte sans présenter de conséquences néfastes et de concurrence avec la production alimentaire.

Les matériaux de construction en France restent essentiellement conventionnels (ciments, laines de verre et de roche, bétons...) et sont portés par les grands industriels de la construction, malgré leur entrée dans le marché des biosourcés. Le marché de l'isolation rapportée biosourcée (isolation par l'intérieur, isolation par l'extérieur), a été estimé en 2011 à 50000 tonnes et représenterait environ 8% du marché français des produits d'isolation, pour un chiffre d'affaire compris entre 90 et 120 M€. Les produits d'isolation rapportée présentent depuis 2005 une croissance annuelle de plus de 35 % par an. Le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) estime que 10 % de la ressource en paille céréalière produite serait nécessaire pour construire 100 % des maisons individuelles, et 5 % pour construire l'ensemble des logements collectifs.

L'isolation rapportée représente le gros du marché. Les isolants biosourcés ont pris une part de marché importante avec 7 % du chiffre d'affaires de ce segment.

Les filières de matériau biosourcés en France ne cesse de se développer. Nous allons voir dans la suite de cette partie, le rôle et la place dans le marché de certains matériaux que nous avons déjà évoqué dans ce rapport.

A ce jour, la filière bois reste la filière biosourcée la plus développée et structurée. La production de bois s'élève à environ 50 millions de m³ par an répartis entre les trois principaux débouchés : 21,1 millions de m³ pour le bois d'œuvre, 14,2 millions de m³ pour le bois d'industrie (papeterie et panneaux de particules ou de fibres) et 4,5 millions de m³ pour le bois énergie. D'après l'Observatoire national de la construction bois, la demande de construction bois sur le marché de la demande individuelle en France s'élève en moyenne à 12% en 2013. Le Sud-est (Languedoc-Roussillon et PACA) présente les demandes en construction bois les plus faibles avec respectivement 5,8 % des parts de marchés.

L'usage de composites biosourcés se développe depuis une quinzaine d'années en France. Le NOVA Institute estime ainsi que le bois composite ou Wood Plastic Composite(WPC) devrait conserver une croissance soutenue de 10 à 17 % par an d'ici 2020.

5,5 millions de m³ de panneaux de particules à base de bois (panneaux, MDF et OSB) sont produits en France sur l'ensemble des 20 sites de production du pays, pour un chiffre d'affaire de 1,2 Md€. 40% de la production est exportée, et 40% de la production est destinée au secteur de la construction.

Le chanvre est un matériau d'autant plus intéressant, toutes les parties de la plante peuvent trouver une application dans le secteur de la construction : les fibres pour la laine isolante ou la production de matériaux composites, la chènevotte utilisée sous forme de granulats comme intrant principal du béton de chanvre (dont la production a été multipliée par 10 entre 2005 et 2012).

La production représentait 11 600 ha en France en 2012, soit 75 % de la production européenne, répartie dans 25 bassins de production. Cette filière, pionnière dans le développement des matériaux biosourcés en France a du mal à porter une véritable croissance, mais aura permis à d'autres filières de bénéficier du savoir-faire acquis pour se développer, notamment en ce qui concerne les technologies d'utilisation de granulats végétaux dans les bétons.

La ouate de cellulose est, elle, issue du recyclage de papier journaux, cartons, papiers recyclés ou coupes d'imprimerie. La production a connu un développement très rapide en France (de 5000 à 45000 t/an en 2012) en grande partie grâce à des tarifs proches de ceux des isolants conventionnels en vrac (laine de verre). Ce développement a été freiné par des problèmes réglementaires qui ont entraîné une chute de la production et des restructurations de la filière (la capacité de production est estimée à environ 100000 tonnes/an). Elle peut être utilisée en tant qu'isolant, en vrac ou sous forme de panneaux souples ou rouleaux. L'énergie grise (nécessaire à la fabrication, au transport et au traitement du matériau en fin de vie) est faible, entre 6 et 50 kWh/m³, contre 250 kWh/m³ pour un isolant «classique» en laine de verre.

Pour finir, les fibres de lin restent aujourd'hui essentiellement destinées à l'industrie textile (85 % d'entre elles) tandis que 10% sont utilisées en tant que revêtements muraux. De nouveaux débouchés apparaissent pour la filière dans les secteurs automobiles et du bâtiment notamment pour les cultures de lin oléagineux cultivées et dont les pailles ne sont que peu valorisées du fait de leur faible rendement à l'hectare (2 t/ha). Une partie de ces pailles entrent dans la composition de produits pour le bâtiment (laine, panneaux, sous couche de sols, etc.). La culture du lin permet le stockage du CO₂, y compris dans le matériau de construction, à hauteur de 16 TeqCO₂ /ha. La surface de lin oléagineux se situe ces dernières années entre 12000 et 15000 ha.

2.3. Le contexte réglementaire et législatif

2.3.1. Les dispositifs législatifs

Nombreux sont les dispositifs législatifs et incitatifs mis en place par les pouvoirs publics qui encouragent fortement le recours aux matériaux de construction biosourcés pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. De la loi de transition énergétique jusqu'au label Bâtiment Bas Carbone (BBCA), les maîtres d'ouvrage publics sont en mesure d'inscrire leurs opérations de construction et de réhabilitation dans une démarche globale de performance énergétique et environnementale.

- **Les textes de lois et stratégies nationales** : il existe la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Elle fixe les objectifs et principes, définit le cadre politique et les outils juridiques, techniques, institutionnels et financiers nécessaires pour accélérer la transition énergétique. Ses objectifs principaux sont de réduire les

émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40% d'ici 2030 (sur la base de 1990) et de les diviser par 4 d'ici 2050 (repris par le «facteur 4»). Deux articles concernent spécifiquement les matériaux biosourcés :

- l'article 14 VI qui précise que «l'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles. Elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments»;
- l'article 144 qui indique que «la commande publique tient compte notamment de la performance environnementale des produits, en particulier de leur caractère biosourcé».

Ensuite vient **la stratégie bioéconomie** : cet outil vise à diminuer notre dépendance aux matières premières non renouvelables. Le développement de la bioéconomie à partir des matériaux tels que le bois et les productions agricoles non alimentaires constitue à la fois une opportunité de croissance au niveau des territoires, et une filière de croissance pour un très large tissu d'entreprises évoluant dans le secteur du bâtiment. La bioéconomie apporte des solutions prometteuses à même de contribuer à la réduction de l'empreinte carbone.

La **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)**: La SNBC fixe le cadre général et les mesures à mettre en oeuvre pour assurer la transition vers une économie bas carbone, en formulant des recommandations à prendre en compte dans les politiques publiques et territoriales. La contribution des matériaux biosourcés dans la réduction des émissions est soulignée à travers les points suivants : Stocker et préserver le carbone dans les sols et la biomasse; Renforcer les effets de substitution matériaux et énergie; encourager la bioéconomie et les puits de carbone naturels; et développer des filières locales visant la production et la mise en oeuvre de matériaux de construction et de rénovation peu carbonés.

Le **Plan climat** : il fixe le cap de la neutralité carbone d'ici 2050. La commande publique représente un levier majeur pour développer des modes de consommation et de production responsables, notamment en soutenant le développement de produits biosourcés durables et en développant des partenariats d'innovation à haute valeur environnementale.

- **La réglementation thermique (RT)** est l'un des moteurs essentiels de la transition énergétique. La progression des exigences entre les RT successives a fait évoluer la performance énergétique des bâtiments mais a également entraîné le passage d'une obligation de moyens (RT2000 et RT2005) à une obligation de résultats (RT 2012). La réglementation en préparation (RBR 2020 pour «Réglementation Bâtiment Responsable 2020») a l'ambition de ne plus se limiter aux seuls critères énergétiques liés au fonctionnement du bâtiment et de passer de la performance énergétique à la performance environnementale avec une approche globale basée sur l'analyse du cycle de vie –dont l'énergie grise, les impacts sur le climat et la renouvelabilité, critères pour lesquels les matériaux biosourcés peuvent apporter des

réponses. D'autre part, un décret définissant les bâtiments à énergie positive et à haute performance environnementale est en cours de préparation. L'utilisation des matériaux biosourcés fait partie des critères proposés.

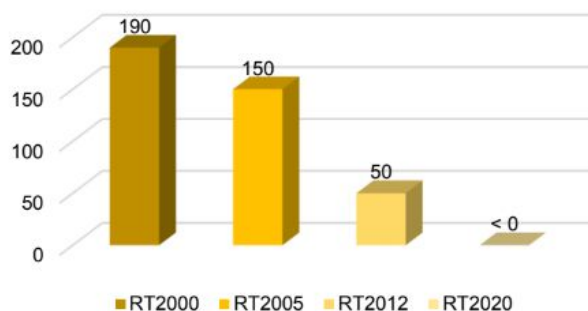


Figure 12 : Evolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs (en kWh ep/m²/an)

- Les **labels nationaux** préfigurent généralement les réglementations –par exemple le label BBC (Bâtiment basse consommation) a préfiguré la RT 2012. Si un label national sur la performance environnementale est attendu pour 2018, le label «Bâtiment biosourcé» mis en place en 2012 permet de promouvoir l’usage d’une certaine quantité de matériaux de construction biosourcés dans les bâtiments. Le label Bâtiment Bas Carbone (BBCA), porté par l’association du même nom est apparu fin 2015 pour entrer en fonctionnement en 2016. Il s’appuie sur une approche globale du bâtiment en termes de gaz à effet de serre et prend en compte directement l’utilisation de matériaux biosourcés; Label Bâtiment Bas Carbone permet de valoriser le stockage temporaire du carbone dans les matériaux élaborés à partir de matières premières végétales, il est à noter que cet aspect n’est pas pris en compte dans le label « Bâtiment à Énergie positive & Réduction Carbone » (E+C-) qui prépare la future réglementation environnementale de la construction neuve.
- Les **démarches de normalisation** se situent au niveau de la Communauté européenne où le processus de normalisation est en cours, notamment en ce qui concerne les définitions, démarche essentiellement portée par le secteur de la chimie verte. Pour le bâtiment, les filières étant peu organisées, les travaux de normalisation progressent très lentement. Les fiches de déclaration environnementale et sanitaires (FDES) qui fournissent les données permettant de calculer les impacts des bâtiments prennent en compte un «bilan carbone» mais ne valorisent pas l’intérêt de stocker sur de longue période du carbone; elles sont donc peu favorables aux matériaux biosourcés.
- Les **enjeux de la rénovation** du bâti existant : en 2013, le gouvernement a défini un « Plan de rénovation énergétique de l’habitat » (PREH) dont l’objectif est la

rénovation énergétique de 500 000 logements par an à l'horizon 2017, dont 380 000 logements privés.

2.3.2. Réglementation, certification et assurabilité des matériaux

La construction de bâtiments doit s'appuyer sur des matériaux et des principes constructifs fiables et appropriés. Pour cela, les évaluations et documents techniques permettent de garantir un niveau de qualité aux ouvrages et de sécuriser toute la chaîne d'acteurs impliquée dans l'acte de construire. Ces différents documents conditionnent par ailleurs l'accès à l'assurance des acteurs de la maîtrise d'œuvre.

▣ Les évaluations techniques des produits de construction

▣ Les évaluations obligatoires :

- ▶ **Le marquage CE** : Pour être mis sur le marché, les produits de construction doivent être en conformité avec les directives européennes, notamment la directive européenne produits de construction (DPC). Tous les produits de construction sont soumis à ce cadre réglementaire.
- ▶ **L'agrément technique européen** : Pour être commercialisés sur le marché européen, les matériaux de construction non normalisés doivent posséder un agrément technique européen, qui atteste des performances techniques du matériau pour un usage donné.

▣ Les évaluations obligatoires ou volontaires selon les cas :

- ▶ **Les essais** : Les essais permettent d'attester des caractéristiques des matériaux. Selon les caractéristiques visées, ceux-ci peuvent s'avérer réglementaires ou volontaires (ex : la réalisation d'un test de résilience au feu pour les matériaux d'isolation est réglementaire).

▣ Les évaluations volontaires :

- ▶ **L'Avis Technique et le Document Technique d'Application** : L'Avis Technique et le Document Technique d'Application sont des appréciations formulées par des comités d'experts qui rendent compte de l'aptitude d'un matériau à un usage donné. On parle de Document Technique d'Application lorsque le matériau possède la marque CE, et d'Avis Technique si non.

- ▶ **L'Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEx)** : L'ATEx est une procédure d'évaluation plus rapide que l'Avis Technique, qui vise à promouvoir l'innovation dans la construction.

- ▣ Les évaluations techniques des procédés de construction

- ▶ **Le Document Technique Unifié (DTU)**: Les Documents Techniques Unifiés sont des cahiers des charges contenant les règles techniques relatives à l'exécution de travaux. Les DTU peuvent servir de référence dans l'établissement du document contractuel liant les maîtres d'ouvrage aux entreprises de mise en œuvre. Les DTU ont le statut de norme, et sont élaborés par la « Commission Générale de Normalisation du Bâtiment/DTU » sous le contrôle général de l'AFNOR.
- ▶ **Les Règles Professionnelles**: Les Règles Professionnelles sont élaborées par les professionnels d'une filière, et permettent de formaliser un ensemble de règles techniques permettant de construire un ouvrage pérenne. Elles peuvent être soumises (ou non) à l'examen de la C2P (Commission Prévention Produit de l'Agence Qualité Construction).

- ▣ La certification

Il s'agit d'une démarche volontaire, la certification garantit à l'utilisateur la constance de fabrication d'un produit et de ses performances. En France, pour les produits d'isolation il s'agit de la certification ACERMI. Cette certification est demandée pour l'obtention de nombreux dispositifs incitatifs tels que les Certificats d'Economie d'Energie (CEE) ou les crédits d'impôt développement durable. Depuis 2008, les matériaux isolants à base de fibres végétales et animales peuvent demander une certification ACERMI.

2.4. *Diagramme de Porter*

2.4.1. Diagramme

Le diagramme de Porter permet d'analyser, assez globalement mais aussi efficacement, la situation concurrentielle d'un secteur. Cela se fait en nommant les 5 forces concurrentielles, leur caractéristiques et stratégies principales ainsi que les relations qui les lient.

Pour ce sujet, nous proposons 2 diagrammes de Porter différents, l'un pour le béton et l'autre pour le secteur de l'isolation.

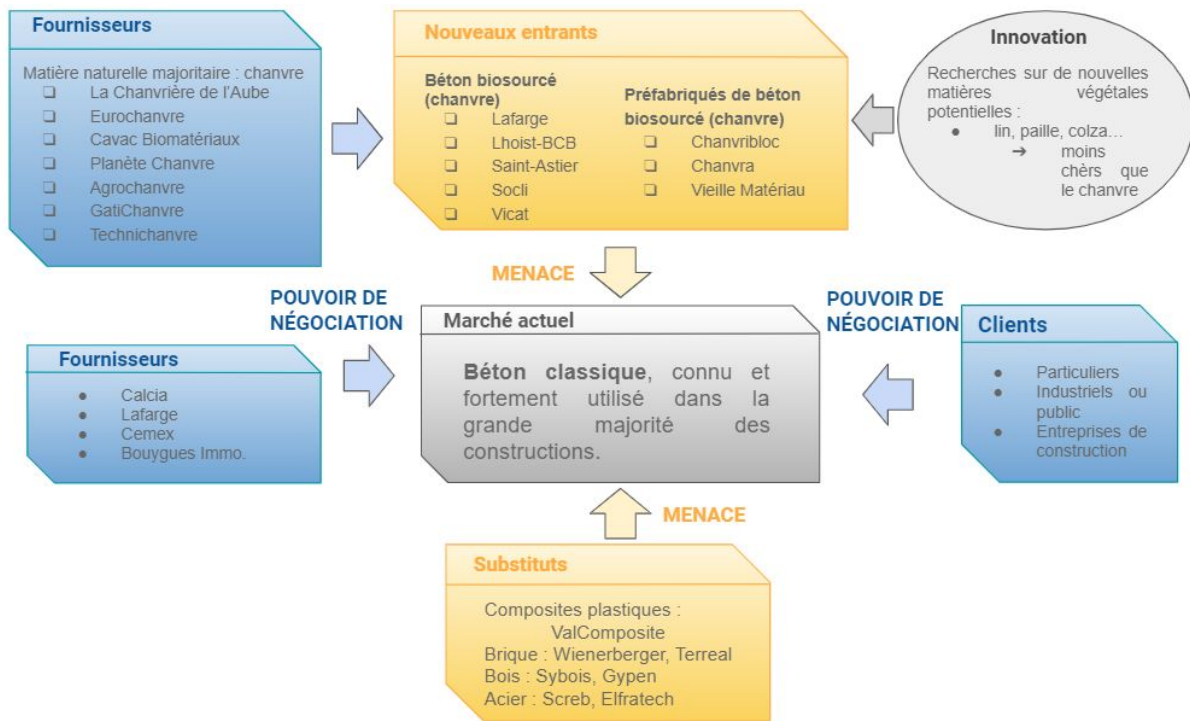


Figure 13 : Diagramme de Porter du secteur du béton

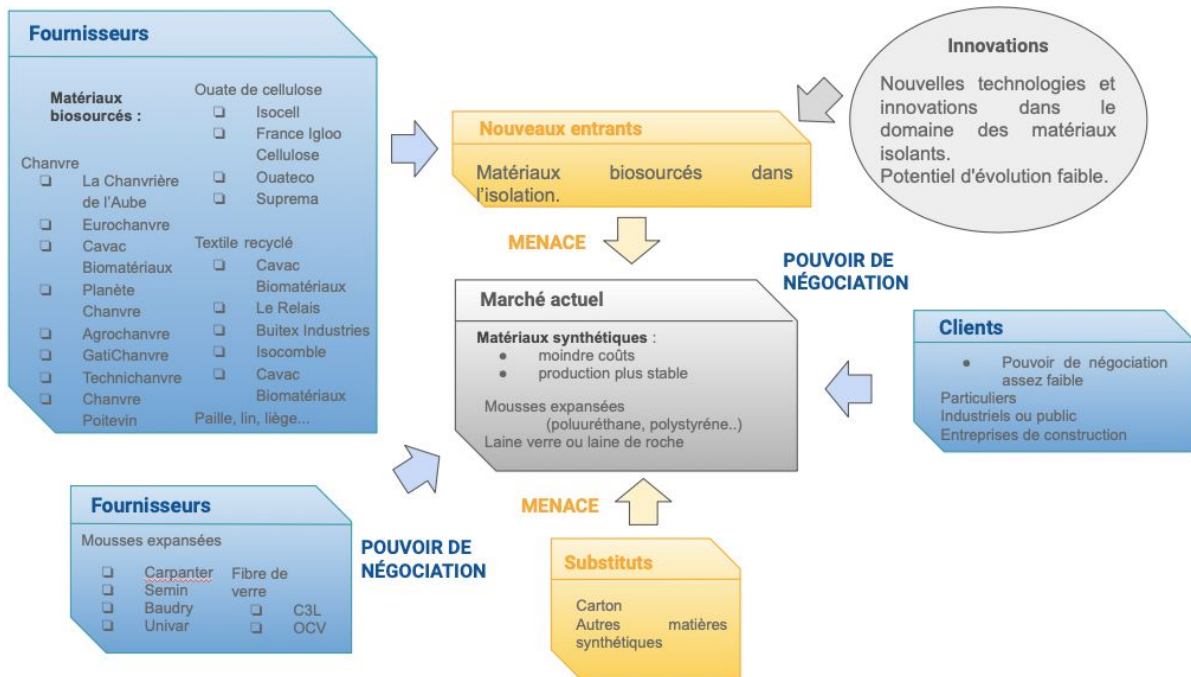


Figure 14 : Diagramme de Porter du secteur de l'isolation

2.4.2. Chaîne de valeur

Suite à l'analyse concurrentielle du marché, il est pertinent de comparer les activités spécifiques des entreprises qui le composent. Ainsi, par une analyse interne, il est possible de distinguer les entreprises les unes par rapport aux autres, de remarquer celles qui possèdent le potentielle de générer de la valeur.

A ce but se prête la chaîne de valeur. Cet outil permet de mettre en évidence les activités clés d'une entreprise, à savoir:

- activités de soutien;
- activités primaires liées à la production;
- activités primaires liées à la vente et au client.

En comparant ainsi les activités clés des différentes entreprises il est possible de vérifier si la valeur concurrentielle est bien présente et justifiée. C'est surtout au niveau de la phase de transformation que le rapport à la concurrence doit être particulièrement étudié. Il s'agit de vérifier les installations, les procédés aux prix et qualité proposés par les différentes entreprises.

Pour ce sujet, nous avons décidé de montrer un exemple assez général du fonctionnement d'une entreprise de confection de matériaux biosourcés pour la construction.

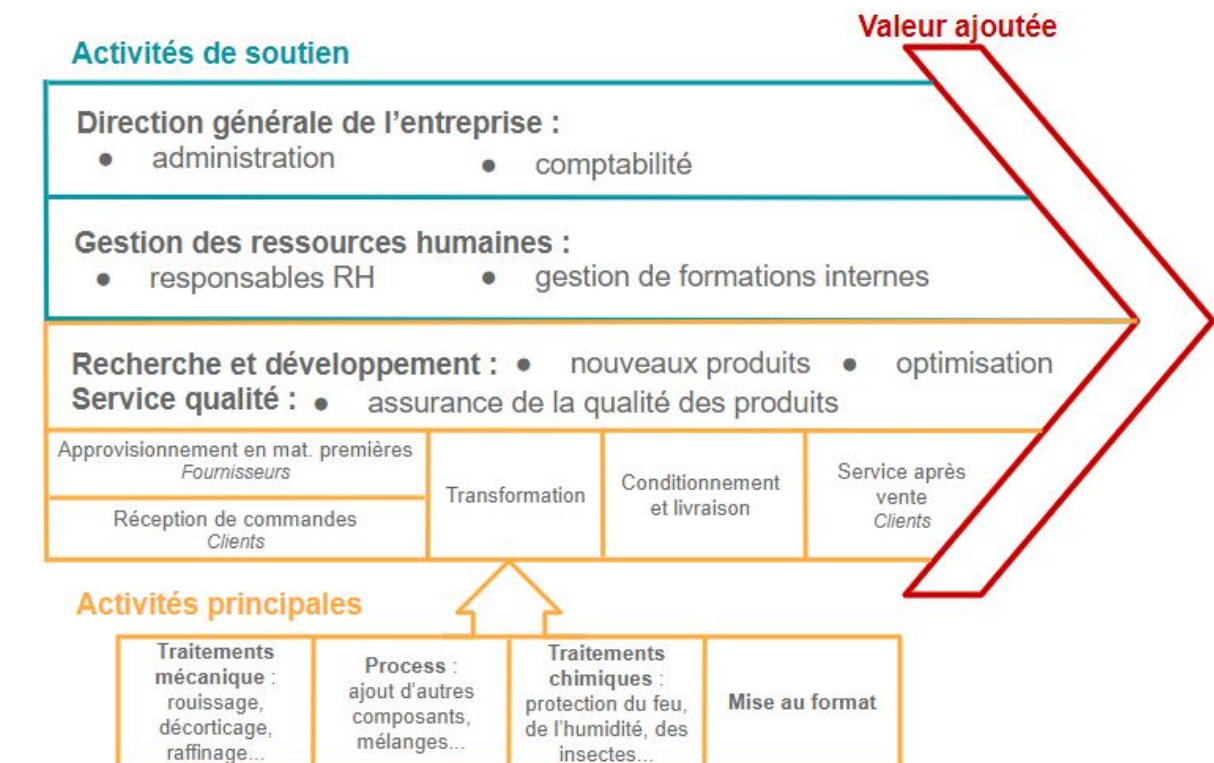


Figure 15 : Chaîne de valeur générale pour une production de matériaux biosourcés

3. Perspectives d'évolution

Après s'être intéressé aux aspects technique et économiques des matériaux biosourcés pour le bâtiment, imaginons comment, grâce aux données actuelles on peut envisager le futur de ces matériaux.

3.1. *Les tendances du marché*

Comme vu tout au long de ce rapport la tendance est à l'augmentation de l'utilisation des matériaux biosourcés. Autant par le changement des mentalités que par les législations qui évoluent, le futur des matériaux biosourcés est en bonne voie.

Exemples :

- Les filières françaises des matériaux de construction biosourcés se tournent de plus en plus aujourd'hui vers la préfabrication et la construction modulaire. L'entreprise Modulem a obtenu le prix de l'Innovation des Maires et des Collectivités pour sa maison modulaire de 260 m² en béton de chanvre.
- Les laboratoires de recherche français sont particulièrement dynamiques sur le sujet des matériaux de construction biosourcés. Plus de la moitié des articles scientifiques publiés entre 2012 et 2015 provenaient de laboratoires français. Cette dynamique scientifique est malheureusement peu relayée vers les entreprises en grande partie par manque d'outils de transferts de technologie.

3.2. *Diagnostic du marché : matrice SWOT*

Les données collectées lors de cette étude nous permettent de réaliser ces matrices SWOT pour les bétons biosourcés et les isolants biosourcés.

<p>FORCES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Empreinte écologique réduite ● Bonne résistance thermique ● Ressource abondante de matière première sur le territoire (chanvre), récolte tout au long de l'année 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● prix encore élevé ● béton en chanvre non porteur : réservé à la rénovation et maison en ossature à bois
<p>OPPORTUNITÉS</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Industrialisation en croissance : de plus en plus d'acteurs développe les bio bétons ● Possibilités de poser des bétons en blocs : usage facilité ● Evolution réglementaire en faveur de matériaux plus durables ● Utilisation de nouveaux granulats : colza, miscanthus ou lin ● Développement des performances et des certifications 	<p>MENACES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Concurrence des bétons classiques aux caractéristiques techniques plus importantes

Tableau 14 : Matrice SWOT du secteur du béton biosourcé

<p>FORCES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Matières premières abondante ● Combinaison possibles entre différentes biomasse permettant une large gamme de performances thermique et acoustique ● Approvisionnement maîtrisé assurant une stabilité des prix des matières opérations de transformation ● récolte tout au long de l'année 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Certifications coûteuses nécessitant des gros volumes de production ● Mixer les biomasses génère des coûts importants pour la mise sur le marché : les produits sont donc plus coûteux et la part de marché occupée augmente faiblement
<p>OPPORTUNITÉS</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Combinaisons pouvant s'adapter aux besoins techniques du marché ● Coût de transport élevé car élément léger mais volumineux limitant ainsi la concurrence étrangères ● Développement des performances et des certifications ● A court terme, le prix de la fibre de bois va continuer à augmenter, laissant plus de place pour les nouveaux isolants biosourcés 	<p>MENACES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Rentabilité menacée par une faible utilisation des lignes de production ● Concurrence des isolants classiques

Tableau 15 : Matrice SWOT du secteur des isolants biosourcés

3.3. Scénarii

Toutes ces analyses nous permettent de comprendre le fonctionnement et le marché, on peut alors se demander quel sera l'évolution des matériaux biosourcés dans le bâtiment. En analysant l'actualité et les tendances dans le domaine du bâtiment on peut alors extrapoler l'avenir de ces matériaux.

Scénario 1 : Le béton biosourcé à base de chanvre disparaît en France à l'Horizon 2030.

Hypothèses :

1. A la suite de la pandémie du Coronavirus, le gouvernement français lance un plan massif de subvention pour l'agriculture afin d'augmenter la souveraineté alimentaire française.
2. La production de denrées non alimentaires sont défavorisées au profit d'une agriculture plus durable, paysanne et maraîchère de fruits légumes et céréales.

En 2022 une loi pour une autonomie alimentaire française, subvention de l'agriculture de denrées alimentaire multiplié par 10.

Un an après, le Lafarge Gate survient est fragilise le marché du béton traditionnel. Le géant de l'industrie du béton est exposé à un scandale écologique sans précédent ce qui entache la réputation du béton, jugé trop polluant. La recherche sur les bétons à base de matériaux biosourcés représente la plupart des investissements du secteur.

En 2025, la production de fruits et légumes explose et demande plus d'espace et les terres agricoles ne cultivant pas de nourriture perdent les subventions françaises.

Puis la production de chanvre diminue fortement en france au profit des vergers et de plantes comestible. La production de chanvre se fait de plus en plus rare ce qui fait exploser le prix de ce matériaux .Le béton à base de chanvre perd de son intérêt auprès des entreprises de construction, le coût économique surpassant l'intérêt écologique de ce matériau.

Finalement, à l'horizon 2030, le béton de chanvre disparaît du à un défaut de matière première, remplacé par un béton de paille de colza et de blé, matière première en forte abondance désormais.

Lafarge est leader du marché et créer des partenariat avec des coopératives agricoles et devient le premier acheteur français de paille de blé.

Scénario 2 : 2040 - La moitié des constructions en béton sont faites en béton de chanvre.

Hypothèses :

1. Le sable de rivière nécessaire à la fabrication du béton traditionnel vient à manquer globalement à cause de l'affaiblissement des stocks par la croissance du bâtiment en béton dans les pays émergents.
2. Le prix du sable explose sous la demande. Le béton de chanvre apparaît comme un substitut intéressant en France qui investit dans le chanvre.

En 2030 le prix du sable de rivière double par rapport à 2029. Les marchés financiers qui spéculent sur cette matière première s'affolent. Le centre de recherche de Calcia et Bouygues Immo font des partenariats avec les producteurs de chanvre pour faire de la recherche et développement sur le bio béton de chanvre

En 2032 une politique agricole se dessine pour favoriser la production du chanvre pour la construction et subventionner les agriculteurs.

Enfin en 2040, le béton de chanvre est utilisé dans 50 % dans des constructions et gagne 10% de part de marché par an. Le bio béton de chanvre devient moins chère à produire que le béton traditionnel.

Scénario 3: Les isolants biosourcés prennent une part grandissante du marché de l'isolation d'ici 2030

Hypothèses :

1. Les performances des panneaux d'isolants biosourcés concurrencent les isolants à base de fibres de bois
2. Les prix sont de plus en plus attractifs
3. La demande augmente

La part de marché des isolants biosourcés dans le marché de l'isolation passe de 7% dans le neuf et la réhabilitation à près de 15% par le passage de commandes publiques de l'Etat importantes valorisant les filières industrielles du secteur.

Ainsi, les acteurs réussissent à s'imposer d'avantages et prennent de l'importance sur le marché économique national. De plus, l'Etat favorise la culture de ces biomasses afin de pouvoir suivre cette demande croissante et stabilise le prix de celles-ci.

Cependant la ouate de cellulose reste le matériau dominant et montre une évolution plus active et une meilleure rentabilité.

Conclusion

Les matériaux de constructions ont un impact important sur notamment trois aspects: la consommation d'énergie, les impacts sur le climat et l'épuisement des ressources difficilement renouvelables. Les démarches d'efficacité énergétique et la nécessité de faire face à la croissance démographique laissent présager que les volumes de matériaux de construction devraient continuer à croître de façon exponentielle pendant les décennies à venir, comme cela est le cas depuis la moitié du XXe siècle. Le recours à des ressources moins « impactantes » est donc une obligation face aux exigences du développement durable. Pour répondre à cette obligation le développement des solutions biosourcées paraît incontournable comme le sont les démarches de réutilisation et de recyclage.

La valorisation des bioressources doit faire l'objet de stratégies raisonnées pour éviter la surexploitation et fixer les priorités, sachant que les valorisations de matières sont les plus pertinentes sur les plans environnementaux et économiques.

La valorisation passe également par l'innovation. Si la recherche scientifique dans ce domaine est entrée dans une phase active, les besoins restent énormes. D'une part, la diversité des ressources et des utilisations multiplie les travaux nécessaires, d'autre part, cette recherche doit être relayée par des transferts de technologie efficaces. De plus, les besoins ne se limitent pas à l'innovation technologique : elle doit également être architecturale, structurelle, normative, réglementaire, organisationnelle, commerciale, etc.

Sur ces derniers points les politiques publiques revêtent une importance particulière, tant sur le plan du financement de la recherche que sur celui des mesures réglementaires. Dans l'ordre des priorités, les matériaux, « qui prolongent la durée de vie du stock de carbone », devraient se placer en deuxième position, derrière l'alimentation et devant la production d'énergie.

Face aux besoins croissants en matières premières, à la prise de conscience du manque prochain des ressources minérales et aux conséquences sur le développement durable, de nombreux secteurs d'activités se tournent vers les potentiels offerts par la biomasse. Le monde de la construction qui consomme près de 50% des matières minérales extraites dans le monde ne peut échapper à cette tendance et les initiatives se multiplient depuis déjà une dizaine d'années.

Le recyclage des papiers et cartons représente également une ressource significative, inégalement valorisée alors que la pertinence environnementale et les performances techniques des produits d'isolation qui en sont issus (ouate de cellulose) sont connues de longue date. A noter que des matières non biosourcées issues de la réutilisation et du recyclage représentent également des gisements considérables pour le secteur de la construction.

Ces ressources, très variées par leurs origines et par leurs caractéristiques (bois, paille de céréales, graminées, plantes à fibres, etc.) sont en mesure, en s'appuyant sur les technologies traditionnelles ou totalement nouvelles, de fournir des matériaux et produits de

construction répondant aux exigences de différentes fonctions de la construction : structures, couverture, isolation thermique, phonique, etc.

Au-delà de ces constats, l'émergence d'une « architecture du végétal » est sans doute la manifestation la plus concrète de la pertinence du sujet.

Les conditions d'un développement significatif des constructions biosourcées sont donc bien réunies et on peut projeter un modèle économique viable pour ce secteur dans les années à venir.

Bibliographie

1. Wikipédia, Histoire de la construction, disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_construction> (consulté le 30/03/2020)
2. Wikipédia, Histoire du béton de ciment, disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_du_b%C3%A9ton_de_ciment> (consulté le 10/04/2020)
3. Lafarge, Histoire du béton, disponible sur <[https://www.lafarge.fr/histoire-du-beton#:~:text=Il%20est%20l'inventeur%20du,%20Denis%2C%20en%20r%C3%A9gion%20parisienne.&text=En%201867%2C%20un%20immeuble%20en,Hennebique%20\(1842%2D1921\).](https://www.lafarge.fr/histoire-du-beton#:~:text=Il%20est%20l'inventeur%20du,%20Denis%2C%20en%20r%C3%A9gion%20parisienne.&text=En%201867%2C%20un%20immeuble%20en,Hennebique%20(1842%2D1921).>)> (consulté le 10/04/2020)
4. Tout Sur le Béton, Le béton fibré : types, avantages et utilisations, disponible sur <<https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/beton-fibre/>> (consulté le 28/05/2020)
5. Pro Web Bâtiment, Historique des Réglemmentations thermiques, disponible sur <<http://www.haldati.fr/pages/histoire/historique-des-reglementations-thermiques.html>> (consulté le 10/04/2020)
6. Lisolation.fr, Les normes inontournables de l'isolation, disponible sur <<https://www.lisolation.fr/norme-isolation-incontournables/>> (consulté le 10/04/2020)
7. Effy, Toitures, sols, murs, ouvertures, une isolation thermique pour toutes les surfaces, disponible sur <<https://www.calculeo.fr/L-isolation-thermique>> (consulté le 10/04/2020)
8. BuildGreen, Comment les cimentiers nous trompent avec de vraies infos?, disponible sur <<https://www.build-green.fr/comment-les-cimentiers-nous-trompent-avec-de-vraies-infos/>> (consulté le 30/03/2020)
9. Wikipédia, Béton, disponible sur <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Béton>> (consulté le 30/03/2020)
10. Wikipédia, Laine de verre, disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Laine_de_verre> (consulté le 30/03/2020)
11. BIO by DELOITTE, FRD, "Les enjeux de la valorisation de la biomasse non sylvicole en matériaux biosourcés", édition février 2016, France AgriMer
12. Alkern, "Le confort d'un habitat d'origine naturelle", brochure (consultée le 19/04/2020)
13. ELSEVIER, Martin Röcka, Marcella Ruschi Mendes Saadeb, Maria Balouktsic, Freja Nygaard Rasmussend, Harpa Birgisdottird, Rolf Frischknechte, Guillaume Habertf, Thomas Lützkendorfc, Alexander Passera, "Embodied GHG emissions of buildings", publication (consultée le 28/04/2020)
14. Fédération française du bâtiment (FFB), "Les matériaux biosourcés dans le bâtiment"
15. BuildGreen, Blocs béton et coffrage biosourcés, un progrès écologique?, disponible sur <<https://www.build-green.fr/blocs-beton-et-coffrages-biosources-un-progres-ecologique/>> (consulté le 24/03/2020)
16. Ministère de la transition écologique et solidaire, "Les matériaux de construction biosourcés et géosourcés" (consulté le 24/03/2020)

17. Vegetal(e), Le portail des matériaux biosourcés, disponible sur [<http://www.vegetal-e.com/>](http://www.vegetal-e.com/) (consulté le 24/03/2020)
18. RebatBIO, "Sensibilisation aux matériaux biosourcés" (consulté le 30/03/2020)
19. InfoCiments, Béton biosourcé : composants, formulations et usages, disponible sur <https://www.infociments.fr/betons/betons-biosources-composants-formulations-et-usages> (consulté le 19/04/2020)
20. ByBéton, Béton de chanvre : quand le biosourcé rime avec performances, disponible sur https://bybeton.fr/grand_format/beton-de-chanvre-quand-biosource-rime-avec-performances (consulté le 30/03/2020)
21. Biosys, Construire et rénover en béton de chanvre, disponible sur <http://www.bloc-biosys.fr/actualite-evenement/construire-et-renover-en-beton-de-chanvre-17698> (consulté le 10/04/2020)
22. CimentsCalcia, Le bloc porteur en béton de miscanthus, disponible sur <https://www.ciments-calcia.fr/fr/de-vous-a-nous/presse-et-communication/communiqués-de-presse/bloc-beton-de-miscanthus-un-materiau-biosource-dedie-a-la-construct-ion-durable> (consulté le 19/04/2020)
23. Alkern, Naturbloc BOIS d'Alkern, disponible sur <https://www.alkern-blog.fr/naturbloc-bois-dalkern/> (consulté le 19/04/2020)
24. ByBéton, Du lin pour un béton biosourcé et structurel, disponible sur https://bybeton.fr/grand_format/lin-beton-biosource-structurel (consulté le 19/04/2020)
25. GreenBuild, Le béton de champignons auto-cicatrisant, disponible sur <https://www.build-green.fr/le-beton-de-champignons-auto-cicatrisant-une-solution-durable-aux-infrastructures-qui-seffritent/> (consulté le 24/03/2020)
26. Karibati, "Coût des matériaux biosourcés : Retours d'expériences" (consulté le 28/04/2020)
27. Ministère de la transition écologique et solidaire, Ministère de la cohésion des territoires, "Etude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction (à l'exception du bois)" (consulté le 28/04/2020)
28. Les amis de la Terre, GRECAU, "Projet de recherche TERRACREA" (consulté le 28/04/2020)
29. Catherine Chabaud, "Les filières lin et chanvre au cœur des enjeux des matériaux biosourcés émergents" (consulté le 05/05/2020)
30. PRISME, "Les matériaux de construction biosourcés" (consulté le 05/05/2020)
31. ADEME, "Des produits biosourcés durables pour les acheteurs publics et privés" (consulté le 05/05/2020)
32. Cerema Ouest, "Le coût des matériaux biosourcés dans la construction" (consulté le 14/05/2020)
33. Arts et Métiers ParisTech, "Panorama de l'usage de matériaux de construction dans 15 pays" (consulté le 14/05/2020)
34. Chantal GIL-FOURRIER, SELARL GIL-CROS, "Ambassadeurs des matériaux biosourcés, Commande publique et matériaux biosourcés" (consulté le 14/05/2020)
35. Cerema, "Le coût global dans les projets de bâtiment" (consulté le 24/05/2020)
36. PBDB, "Prescrire les éco-matériaux dans les marchés publics" (consulté le 24/05/2020)

Table de figures

Figure 1 : Laine de verre en rouleau, revêtement en aluminium (Source : www.e-sfic.fr)...5	5
Figure 2 : Exemple d'application de mousse expansive sur une paroi verticale.....6	6
Figure 3 : Parpaings de béton biosourcé de chanvre (Source : bloc-biosys.fr).....7	7
Figure 4 : Laine de chanvre.....9	9
Figure 5 : Filasse de chanvre.....9	9
Figure 6 : Rouleau de liège.....11	11
Figure 7 : Panneau de liège expansé.....11	11
Figure 8 : Rouleau et panneaux de laine de lin (Source : Iso-Techna).....12	12
Figure 9 : Cycle de vie des matériaux biosourcés(Source : DHUP).....16	16
Figure 10 : Evolution de l'utilisation mondiale de matériaux de 1900 à 2005 (en Gtonnes)..19	19
Figure 11 : Répartition en masse des matériaux biosourcés isolants (Source:TERRACREA).....21	21
Figure 12 : Evolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs (en kWh ep/m ² /an).....25	25
Figure 13 : Diagramme de Porter du secteur du béton.....28	28
Figure 14 : Diagramme de Porter du secteur de l'isolation.....28	28
Figure 15 : Chaîne de valeur générale pour une production de matériaux biosourcés.....29	29

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du béton biosourcé.....	8
Tableau 2 : Caractéristiques techniques du chanvre.....	9
Tableau 3 : Caractéristiques techniques du liège.....	11
Tableau 4 : Caractéristiques techniques du lin.....	12
Tableau 5 : Caractéristiques techniques de la ouate de cellulose.....	14
Tableau 6 : Caractéristiques techniques du textile recyclé.....	15
Tableau 7 : Performances du béton biosourcé.....	17
Tableau 8 : Performances du chanvre.....	17
Tableau 9 : Performances de la ouate de cellulose.....	17
Tableau 10 : Performances du textile recyclé.....	18
Tableau 11 : Performances du lin.....	18
Tableau 12 : Performances du liège.....	18
Tableau 13 : Prévisions du taux de substitution pour les matériaux biosourcés (Source : TERRACREA).....	20
Tableau 14 : Matrice SWOT du secteur du béton biosourcé.....	31
Tableau 15 : Matrice SWOT du secteur des isolants biosourcés.....	31