

CHAPITRE 03: Nouveaux matériaux

III.1. Béton autoplaçant (formulation et état frais, état durci et durabilité)

III.1.1. Historique du Béton auto-plaçant

Pendant plusieurs années à partir de 1983, le problème de durabilité des structures était une majeure préoccupation dans le domaine de construction en Japon.

Pour réaliser une structure en béton durable, une compaction suffisante est exigée par une main d'oeuvre qualifiée.

Le Problème qui se pose est la réduction progressive en main d'oeuvre qualifiée en Japon a conduit à la réduction de la qualité de la construction. Alors la solution proposée est l'utilisation du béton auto-plaçant

III.1.2. Définition d'un BAP

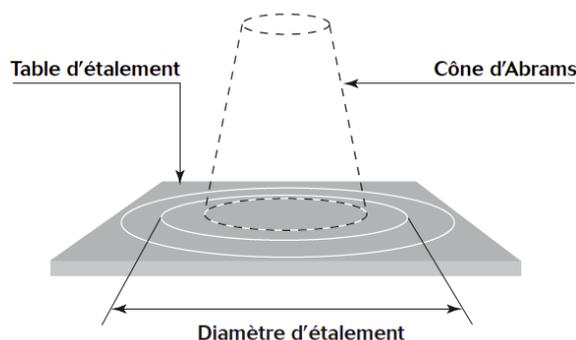
- Par Béton Auto-Plaçant, on désigne un béton très fluide qui peut être mis en oeuvre sans vibration (la compaction s'effectue par le seul effet gravitaire) et donner, après durcissement, un matériau compact et homogène.
- Ce qui distingue véritablement les BAP des bétons fluides, c'est leur capacité à cheminer dans les coffrages tout en conservant leur homogénéité et leur compacité.
- la formulation de BAP, imaginée par le professeur Okamura est conçue pour réaliser des ouvrages de génie civil, à forte densité d'armatures, pour lesquels des anomalies de mise en oeuvre étaient redoutées.
- Utilisation des BAP reste en général destinée à des ouvrages compliqués à réaliser techniquement.

III.1.3. Caractéristiques du béton auto-plaçant à l'état frais

- Un BAP doit s'écouler sous son propre poids et avec un débit suffisant.
- La valeur moyenne d'étalement mesuré au cône d'Abrams est généralement comprise entre 600 et 750mm.

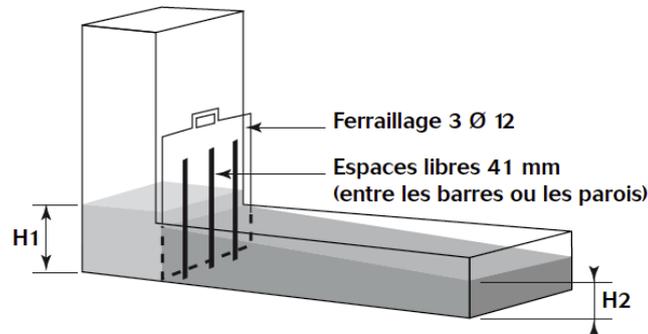
a) Essai de Slump Flow (Essai d'étalement) :

Mesure d'étalement au cône d'Abrams



b) Essai L

Essai de la boîte en L



- 1) Donne une indication sur la capacité du remplissage
- 2) Il permet de tester la mobilité du béton au milieu confiné
- 3) Vérifier la mise en place du béton (pas de blocage)
 - Un BAP doit avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise, pour des raisons d'homogénéité de ses propriétés mécaniques.
 - Ces bétons sont généralement pompables.
 - Le béton auto-plaçant est conforme à la norme NF EN 206-1 et aux textes en vigueur (DTU 21, fascicule 65 A).

III.1.4. Caractéristiques du béton auto-plaçant à l'état durci

- À l'état durci, les propriétés du BAP sont très voisines des bétons usuels et dépendent directement du détail de la formulation.
- Pour ce qui concerne la résistance en compression à 28 jours, on peut couvrir avec les BAP une large gamme de performances (la gamme usuelle de 30 à 60 MPa).

Le formulateur de BAP est confronté à concilier des propriétés à priori contradictoires : la fluidité, ainsi que les résistances à la ségrégation et au ressuage du béton.

III.1.5. Formulation du béton auto-plaçant

1. Volume de pâte élevé
2. Quantité élevée de fines (particules < 125 µm)
3. Utilisation de superplastifiants
4. Utilisation éventuelle d'un agent de viscosité (cohésion)

Agent de viscosité + superplastifiant + fines

5. Faible volume de gravillons

III.1.6.Mise en oeuvre du Béton auto-plaçant

- La fabrication des BAP demande un contrôle et un suivi renforcé par rapport aux bétons ordinaires vibrés couramment utilisés. Ceci pourra évoluer avec une meilleure maîtrise du dosage en eau.
- Le temps de malaxage s'en trouve légèrement augmenté par rapport aux bétons ordinaires vibrés.
- L'adjuvantation sur site correspond à l'incorporation en camion-malaxeur sur chantier de tout ou partie du superplastifiant.

Bétons ordinaires vibrés.	Béton auto-plaçant
<ul style="list-style-type: none">➤ la mise en oeuvre doit se faire par couches d'au plus 50 cm.➤ une hauteur de chute inférieure à 1,5 m.➤ éviter de déplacer du béton par effet de la vibration sur une distance de plus de 2 m. nid de cailloux .	<ul style="list-style-type: none">➤ Pas de limitations.➤ hauteurs de chute jusqu'à 5 m. Des déplacements horizontaux dans le coffrage de 5 à 10 m. <ul style="list-style-type: none">➤ défauts d'ouverture supérieure à 3 mm (vider le coffrage).

III.1.7.Avantages de BAP

Domaines d'utilisation privilégiés des BAP

- Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en oeuvre d'un béton conventionnel présentant:
 - des densités de ferrailage importantes
 - des formes et des géométries complexes
 - des voiles minces et de grande hauteur
 - des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures
 - des voiles de grande hauteur sans reprise de bétonnage
 - des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration
- des exigences architecturales et de qualité des parements élevées
- absence de vibration et donc de nuisances sonores,
- des parements de meilleure qualité permettant la suppression des ragréages éventuels,
- un gain de temps sur les bétonnages,
- une suppression des risques d'accident liés à la manutention de la benne,
- une économie de main-d'oeuvre et un meilleur enrobage des armatures.

III.1.8.Inconvénients BAP

- BAP sont plus chère que BO (addition minérales et Adjuvants)
- Très sensible à la variation Eau et Superplastifiant
- Dégradation Spectaculaire BAP si Eau est importante (contrôle strict teneur en eau des granulats)

- BAP perdent leur d'Autoplasticité si Superplastifiant FAIBLE
- Le retrait est plus important que les bétons courants

III.2.Béton fibré

III.2.1.Définition

- Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène
- Un béton renfermant le liant hydraulique, l'eau, les granulats et les fibres discontinues écartées est appelé béton renforcé de fibres. Il peut aussi contenir de la pouzzolane et d'autres ajouts couramment utilisés dans les bétons usuels.

III.2.2.Les principaux objectifs de l'inclusion de fibres dans le béton sont les suivants:

- Améliorer la rhéologie ou les caractéristiques de la fissuration plastique du matériau à l'état frais ou jusqu'à 6 heures après coulage.
- Améliorer la résistance à la traction ou la flexion
- Améliorer l'impact de la résistance et la compacité.
- Contrôler la fissuration et le mode de rupture au moyen de la ductilité de la pré-fissuration.
- Améliorer la durabilité.

III.2.3.Classification des bétons renforcés de fibres en fonction de leur fraction en volume:

a. Faible fraction de volume (<1 pourcentage)

Les fibres sont utilisées pour réduire le retrait de dessiccation. Ces fibres sont utilisées dans les radiers et les trottoirs et chaussées dont la surface exposée est large et conduisant à un retrait de dessiccation très élevée.

b.Fraction de volume moyen (entre 1 et 2 %).

Les fibres dans cette fraction de volume augmentent le module de rupture et la résistance à la rupture. Ces composites sont utilisés dans les méthodes de construction.

c.Fraction de volume élevé (supérieure à 2 %).

Les fibres utilisées à ce niveau améliorent le comportement de ces composites et sont souvent désignées comme béton à hautes performances renforcé par des fibres (BHPPF). La dernière décennie a vu le développement de meilleurs composites appelés ultra BHPPF.

III.2.4.Définition et différents types de fibre

III.2.4.1.Définition

- Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives.
- Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

III.2.4.2. Les différents types de fibres

On distingue trois grandes familles de fibres

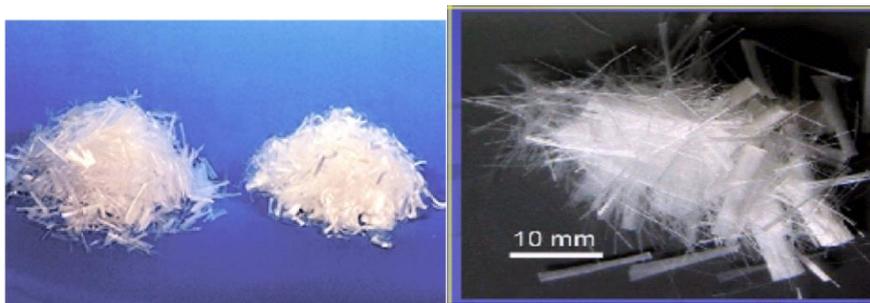
- a. Les fibres métalliques :
- b. Les fibres organiques :
- c. Les fibres minérales :

Tableau : Différents types de fibres (Venuat M.1983)

Fibres naturelles			Fibres artificielles	
Végétales	Animales	Minérales	Minérales	Organiques
Lin Chanvre Coton Celluloses Sisal	Poil Crin Laine Soie	Amiante de roches Silicomagnésiennes	Laitiers de haut fourneau Laine de roche (basalte) Carbone Céramique Métaux (acier, fonte) Verres spéciaux	Polymères longs dont les molécules sont orientées dans l'axe de fibre

a. Les Fibres polypropylène :

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile Gentil J. (1983). L'ajout de fibres au mortier ou au béton remonte industriellement à 1960 et ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne (Panneaux de façade de 33 mm d'épaisseur du Londonderry House à Park-Lane à Londres). Les premiers fils étaient de sections circulaires et lisses.



- Le polypropylène appartient à la famille de polyoléfine des produits chimiques.
- les fibres sont hydrophobes, qui n'absorbent pas l'eau, et non corrosives. D'ailleurs, les fibres de polypropylène ont les excellentes résistances contre des alcalis, les produits chimiques et le chlorure, et une basse conductivité thermique.
- Par ces caractéristiques les fibres de polypropylène n'ont donc aucun effet significatif sur la demande de l'eau du béton frais. Elles n'interviennent pas dans l'hydratation du ciment.

On utilise ces type de fibres dans :

- Les pieux de fondation.
- Les pieux précontraints.
- Les panneaux de revêtement.
- Les éléments flottants.
- Les matériaux de réparation des routes

b. Les fibres de verre :

- L'idée d'ajout de fibre de verre remonterait à 1920. Les premiers essais furent effectués en URSS vers 1950 par ajout de fibre de verre ordinaire dans une pâte de ciment alumineux.
- Comme le verre ordinaire est attaqué par les alcalis des ciments portland, le Dr Majumber mit au point vers 1976 un verre spécial, non attaquable, à base de Zirconium. Cette dernière solution est la plus pratique. On peut également protéger la fibre par un ensimage (Dépôt d'un corps gras sur la fibre).
- Les Fibres de verre présentent d'excellentes caractéristiques : leur résistance à la traction est supérieure à celle de l'acier et leur coefficient de dilatation est sensiblement égal à celui de la pâte de ciment.

Le tableau (I.4) montre, qu'il y a trois types de fibres de verre (Venuat M.1985) suivant leur composition chimique:

Tableau (I.4) : Composition des différentes sortes de fibres de verre (Venuat M. 1985)

Composition chimique	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	B ₂ O ₃
Verre classique	73	1	0	8	4	13	10
Verre borosilicate	55	14	0	17	5	0	8
Verre zirconium	70	0..2	16	0	0	12	8



Le domaine préférentiel des mortiers armés de fibres de verre est celui de la préfabrication

- comme par exemple :
- Bardages industriels.
- Murs anti- bruit, Rideaux.
- Tuyaux d'égout et canalisations diverses (caniveaux d'irrigation).
- Toiture en voile mince de béton.
- Enduit pour blocs de béton et objet décoratifs

c. Les fibres d'acier :

Les fibres métalliques, notamment d'acier, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour développer leurs emplois dans le béton. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton.



Il existe différents types de fibrés métalliques existants :

- fibres ondulées - crantées - torsadées-droites ;
- fils, rubans ;
- fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc.

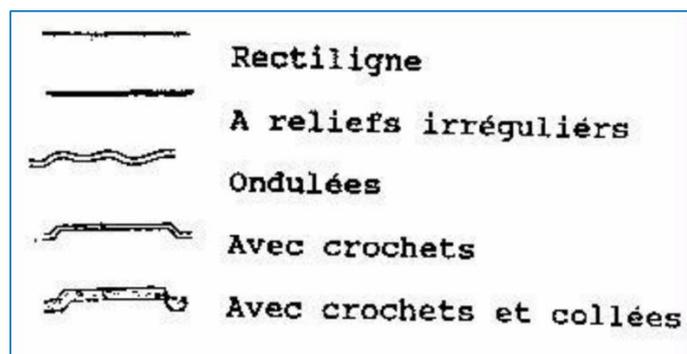


Figure : Quelques exemples de formes de fibres d'acier section circulaire, rectangulaire, carrée ou elliptique (Venuat M. 1983).

c.1. Domaine d'application des fibrés métalliques

- Ils sont utilisés ;
- Dans les dallages et les sols industriels ;
 - Pour la fabrication des tunnels, de coques ;
 - Pour réaliser des bétons projetés (la réparation de revêtements de tunnels et galeries)
 - Le confortement de parois de soutènement en béton),
 - Pour la réalisation de produits préfabriqués
 - Pour la confection de mortier de réparation.
 - Sols industriels et sol de parkings.
 - Éléments de toiture en béton cellulaire.
 - Revêtements de chaussée.
 - Tabliers de pont.
 - Produits réfractaires.
 - Tuyaux en béton.
 - Pistes d'atterrissage.

- Réservoirs sous pression.
- Structures résistantes aux explosions.
- Revêtements de tunnel, coques de bateaux.
- Revêtements de chaussée.
- Produits réfractaires.
- Pistes d'atterrissage.
- Structures résistantes aux explosions.

d. Les fibres de carbone :

Leur utilisation, pour le renforcement de structures par mise en place de fibres de carbone, vise à compléter la structure d'un ouvrage là où ses parties tendues sont insuffisamment dimensionnées.

Le procédé est destiné à réparer et à renforcer les structures par le collage soit d'armatures passives composites à base de fibres de carbone noyées dans une matrice polymère ou d'un tissu de fibres de carbone.



Fibres de carbone en lamelles

Fibres en tissu

d.1. Domaine d'application:

Ce Procédé est préconisé pour le renforcement des structures du Bâtiment et des Travaux

Publics. Pour les structures en béton armé, les domaines d'application se résument en:

- Changement d'affectation de la structure : Par exemple, bureau transformé en pièce d'archivage, augmentation du trafic des charges d'exploitation;
- Modification de la géométrie de la structure: Par exemple, ouverture de trémies, suppression de poteaux, ouvertures dans un voile porteur.
- Erreur de conception initiale : Par exemple, mauvais dimensionnement des aciers, ferrailage insuffisant par conception ou défaut de positionnement;
- Réparation après un sinistre: Par exemple, incendie, diminution de la section des aciers par corrosion.
- Amélioration des conditions de service: réduction de flèche de plancher, réduction des contraintes dans les armatures, réduction d'ouverture de fissures.

III.2.3.3. Le choix des fibres :

Le choix des fibres dépend de

- l'usage recherché (pièces mince ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation de structure.....)
- de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...)
- de leur disponibilité et de leurs prix

les qualités recherchées pour les fibres :

- être relativement longues, fines, flexibles, ne pas se casser lors du malaxage.
- Posséder une forte résistance en traction;
- Bien adhérer à la pâte du ciment (forme- adaptée état du surface facilitant l'accrochage);
- Avoir un module d'élasticité adapté (parfois très supérieur à celui de la pâte pure du ciment),
- Ne pas être attaquées par le milieu basique du ciment; ni corrodées par le milieu extérieur;
- Être stables dans le temps;
- Être sans danger pour la main-d'oeuvre;
- Être efficaces pour un dosage peu élevé;
- Être d'un prix compétitif et acceptable.

Tableau (I.3) : suivant donne les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées (G.Debicki 1987)

Fibres	Diamètre (mm)	Longueur	Masse volumique (Kg/cm ³)	Résistance traction (Mpa)	Module E (Mpa)	Allongement (%)	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	R au feu (°C)
Amiante (chrysolite)	0.0002 à 0.002	5 à 20	2.6 à 3	300 à 1000	80 000 à 150 000	2 à 3		1500
Polypropylène	0.01 à 0.1	25 à 75	0.9	400 à 600	4000 à 8000	15 à 20	90	150
Verre (au zirconium)	0.006 à 0.020	40 à 70	2.6	1500 à 3000	80 000	2 à 3	9	600
Acier	0.2 à 0.5	20 à 50	7.9	1000 à 3000	200 000	3 à 4	11	1500
Carbone	0.005 à 0.01	Variable	2	2000	400 000	0.5	1	400 à 1500
Fonte amorphe	30 à 60 x 0.03 x1	30 à 60	7.2	2500	130 000	2		300
Aramide	0.012	10	1.4	2800	80 000	4.2	-2	300

III.2.3.4.les avantages et les inconvénients des fibres:

a.les avantages

- Ils ne rouillent pas: ils ne sont pas corrosifs. Toutes les fibres sont désirables dans des environnements carbonatés. Les fibres d'aramide et de carbone montrent une bonne résistance aux environnements acides et alcalins.
- Ils sont résistants aux environnements agressifs, comme les ions chlorures.
- Ils sont insensibles aux courants électromagnétiques, à un degré moindre pour les fibres de carbone.
- Ils ont une bonne résistance en traction et un faible poids.

Ces qualité font des fibres un substitut idéals dans la structure est exposée à des agents corrosifs (sel de déverglaçage, environnements marins, gaz carbonique, gaz corrosifs,

produits chimiques) ou que le système d'armature ne doit pas conduire d'électricité (planches d'alumineries, trous d'accès ou de visites d'équipements électriques et de télécommunication. etc.)

b. Les inconvénients

- Coût trop élevé (2 à 50 fois celui de l'acier).
- Un module d'élasticité relativement faible, sauf pour les fibres de carbone.
- Absence de déformation plastique.
- Grand rapport de la résistance axiale sur la résistance latérale.
- Perte de résistance sous charges retenues.
- Dégradation au contact des rayons Ultra-Violets.
- Réaction des fibres de verre avec les alcalis.
- Un manque d'expérience d'utilisation des fibres.

III.2.3.5. Comportement des fibres dans la matrice béton :

Le béton est un matériau fragile qui se rompt brutalement lorsqu' il atteint sa résistance à la traction. Les fissures s'y propagent donc de façon très rapide. Le béton armé de fibres se distingue du béton ordinaire par l'absorption d'énergie que procurent les fibres.

La courbe effort- déformation est différente : le matériau fragile au départ, s'est transformé en matériau ductile qui se rompt lentement après un allongement plus important dû à la formation d'un grand nombre de microfissures (plus grande énergie de rupture)

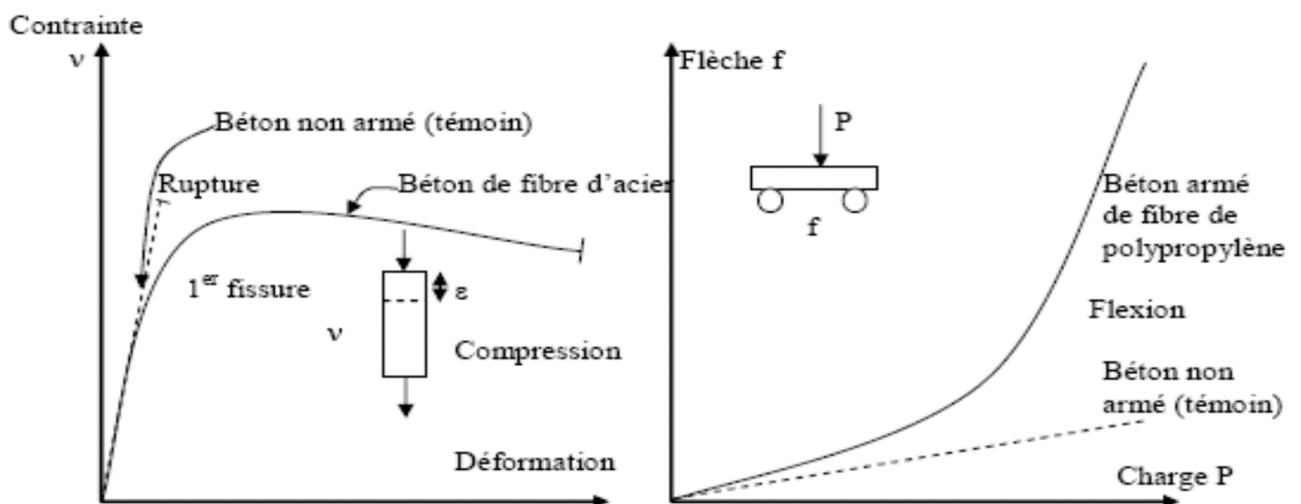
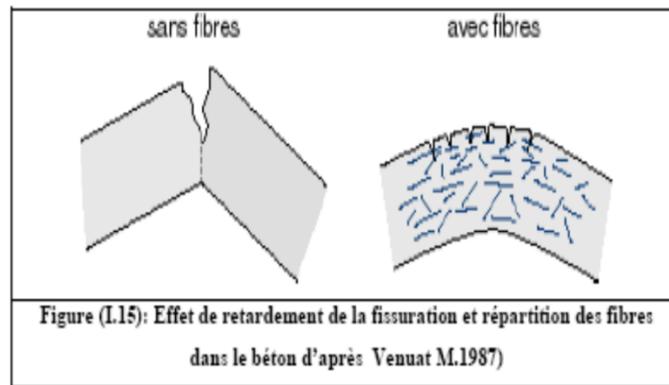


Figure : déformation d'un béton armé de fibres, comparée à celle d'un béton non armé d'après Venuat

M.1987)



III.3.Béton de chanvre

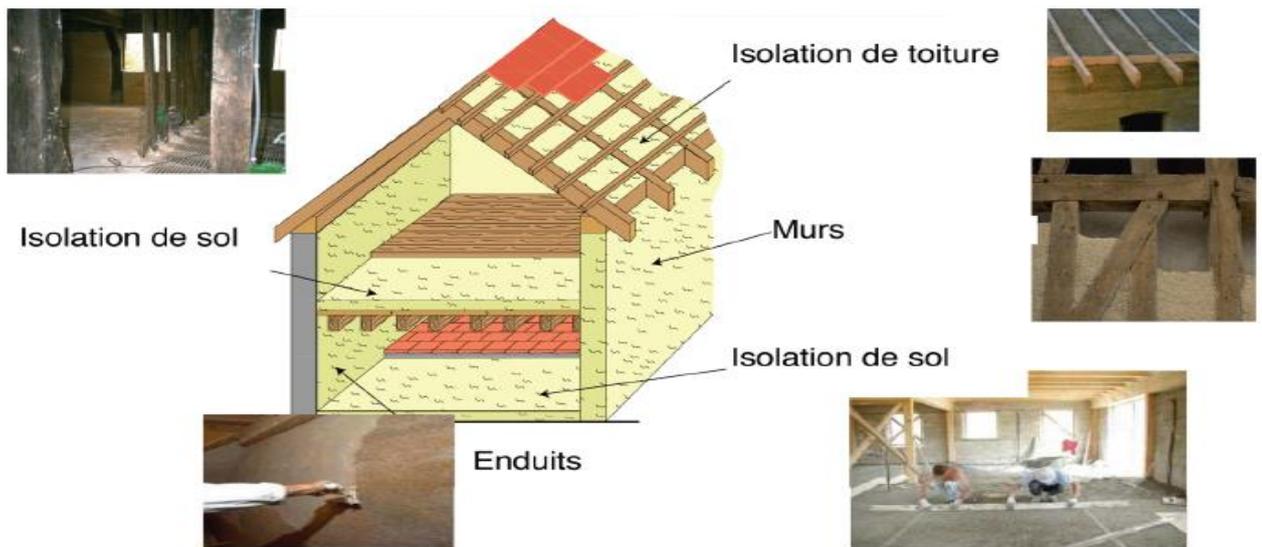
III.3.1. Définition

- Le **béton de chanvre** est un complexe de matériaux naturels associant chaux et chanvre. La chaux est fabriquée à partir de chaux aérienne, formulée pour accélérer la prise en âge jeune.
- La chènevotte est fabriquée à partir de la tige de chanvre, plante ne nécessitant aucun traitement phytosanitaire, peu d'eau et facilitant la régénération des sols agricoles. Résulte de la combinaison chaux chanvre un béton naturel, léger, voir ultra-léger, au comportement thermohydrodynamique permettant la réalisation d'ouvrages très performants, en total adéquation avec les règlementations thermiques actuelles et à venir.
- Le béton de chanvre fait partie des matériaux biosourcés utilisé pour construire, rénover et restaurer tous les types de bâtiments : la maison individuelle, l'habitat collectif, tous les ouvrages du patrimoine, du vernaculaire jusqu'aux Monuments Historiques.
- Le **béton de chanvre** se réalise en mélangeant chaux et chanvre suivant des proportions adaptées à l'ouvrage à mettre en place. Ce qui permet de confectionner des murs isolants, des doublages isolants, des toitures isolantes, des chapes isolantes et combles perdus isolants ainsi que des enduits isolants.

III.3.2.Domaine d'emploi.

- Il permet de mettre en place
- une isolation répartir en mur, toiture et chape. Il s'adapte à toutes les configurations chantier, en neuf et rénovation.
- Ce n'est pas un matériau porteur. Donc, en mur il vient en remplissage d'une ossature principale ou secondaire qui peut être en bois, métal ou béton.
- Il est utilisé également en remplacement de torchis dégradés, en remplissage de murs pans de bois. En doublage isolant, il s'applique sur tous les supports minéraux normalisés.

MISES EN OEUVRE DU BÉTON DE CHANVRE ET UTILISATIONS



Pour une conductivité thermique allant de **0.06 à 0.19 W/(m.K)** pour des dosages allant de **200 à 1000 kg/m³**

III.3.3. Mode d'application. Initialement

- il s'appliquait manuellement.
- Puis des machines de projections spécifiques ont été mises sur le marché, pour des rendements fortement optimisés.
- Pour la réalisation de toitures et chapes isolantes, le système centrale à béton + camion-toupie + tapis-convoyeur est également une solution avantageuse que les professionnels maîtrisent parfaitement.
- Désormais la préfabrication en atelier de parois offre aussi un réel potentiel pour construire plus rapidement tout en bénéficiant d'un matériau à fortes performances thermique et hygrique.

III.3.4. Performance thermique.

- Les premiers retours d'expérience sur l'habitat individuel neuf montrent que l'on peut construire facilement des maisons bioclimatiques à très faible coût de chauffage et sans poste climatisation.
- En moyenne, on peut estimer un coût moyen de chauffage autour de 1 à 2 € du m². En sachant qu'on peut aller sur des valeurs encore plus faibles si l'on considère l'exemple de la maison construite en Vendée par JM Naumovic architecte dont le coût chauffage est de 35 € par an.

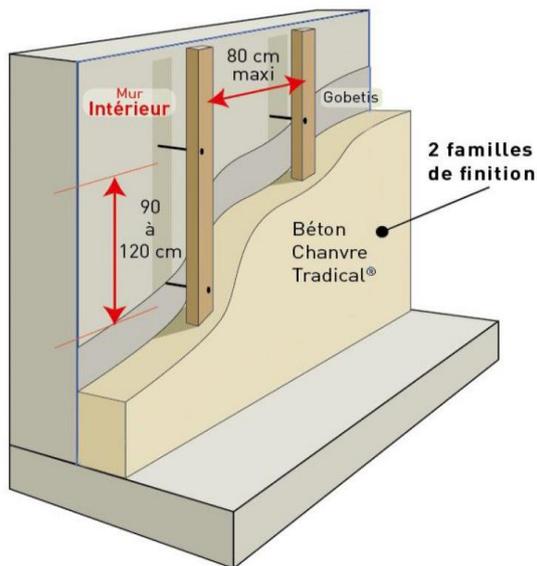
III.3.5. Le Doublage Isolant béton de chanvre appliqué directement

sur le support, sans joint, sans lame d'air assure un ouvrage en continuité de l'existant, évitant notamment les ponts thermiques rencontrés avec les isolations classiques.

Il amplifie donc les caractéristiques initiales des murs sur lesquels il est mis en œuvre. Il apporte ses caractéristiques de fonctionnement propre et sans équivalent sur le marché de la rénovation :

- écrêtage dynamique des variations de températures,

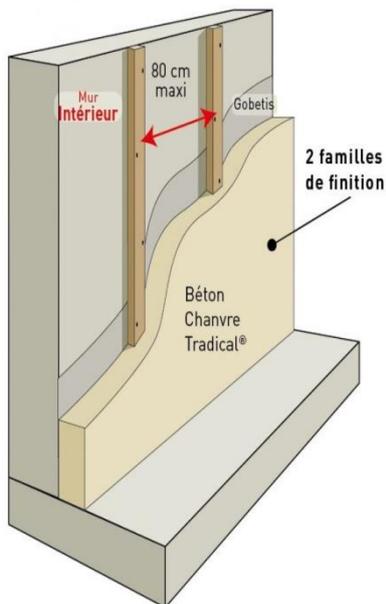
- écrêtage dynamique des variations d'humidité relative intérieur
- suppression de l'effet paroi froide
- Il en résulte une isolation, un confort de vie et une qualité sanitaire de l'air, aussi efficace en hiver qu'en été.
- Le béton de chanvre a fait l'objet de test concernant sa durée de vie. Ainsi, il résiste à 20 cycles gel/dégel, ce qui équivaut à la durée de vie d'une pierre calcaire.



Doublage épais
Au-delà de 15 cm

Applications

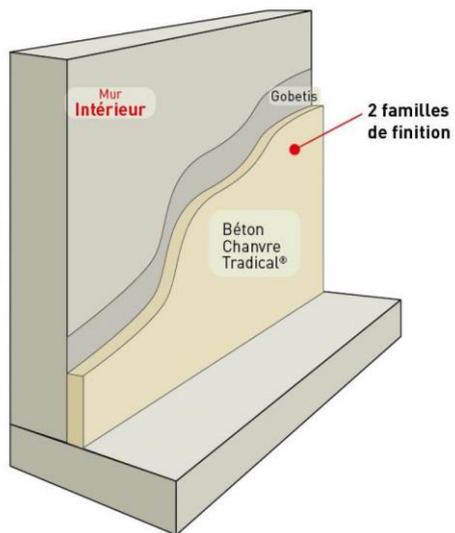
- Remplissage entre mur et banche
- Projection machine
- Jeté Truelle



Doublage moyen
De 11 à 15 cm

Applications

- Remplissage entre mur et banche
- Projection machine
- Jeté Truelle



Doublage mince
Jusqu'à 11 cm

Applications
– Projection machine
– Jeté Truelle