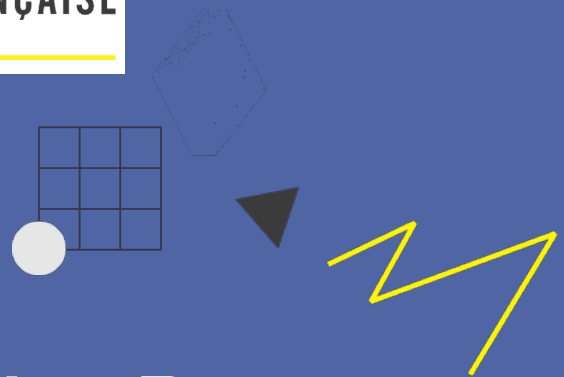
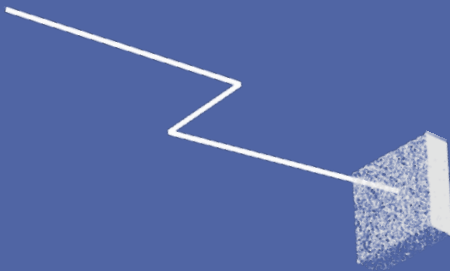




La Gamme des Bétons



Ce livret de fiches pédagogiques techniques accompagne la mallette dédiée à la gamme des bétons. Il a été conçu comme un outil pratique, structuré et opérationnel, permettant d'appréhender de manière claire et synthétique les caractéristiques, les propriétés, les domaines d'emploi et les bonnes pratiques associées aux différentes formulations des bétons.

Chaque fiche vise à :

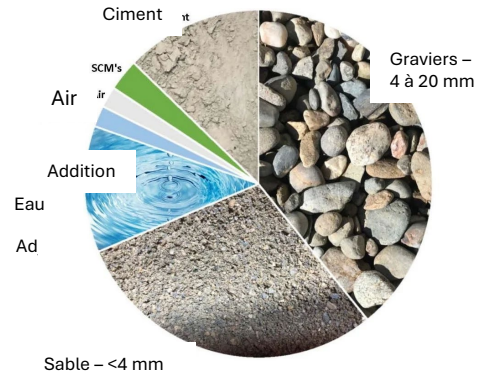
- Présenter les principes fondamentaux,
- Clarifier les spécificités techniques,
- Faciliter la compréhension des usages,
- Accompagner la prescription et la mise en œuvre.

Les Bétons Courants : matériaux clé de la construction

Le **béton courant** est un matériau de construction qui a la capacité de durcir dans le temps et de développer de fortes résistances. Il est **le plus souvent associé à des armatures en acier (béton armé)** ou à **de la précontrainte** pour former des structures résistantes et durables. Il est utilisé pour réaliser la majorité des **bâtiments et infrastructures**.

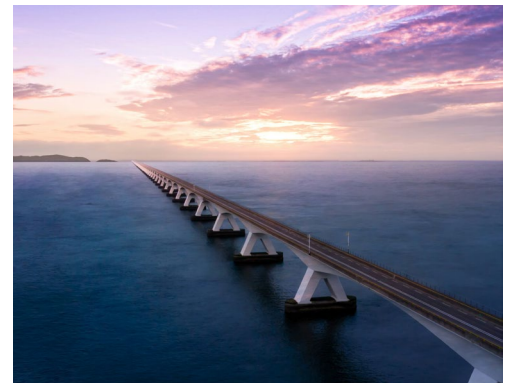
Composition et formulation

- Mélange de ciment (essentiellement type CEM I et CEM II) , d'additions (laitier, calcaire...), de granulats (sables et graviers) , d'adjuvants et d'eau.
- Formulation (dosage ciment et eau) adaptée à son usage, et à son environnement d'exposition (gel, milieux marins, agents chimiques)
- Les granulats peuvent être naturels ou recyclés.



Caractéristiques et Performances

- Densité élevée **d'environ 2350 kg/m³**
- Résistance en compression comprise entre **20 à 50 MPa**
- **Longue durabilité** (> 50 ans)
- Adapté aux **environnements marins et agressifs**
- **Excellent comportement au feu**
- **Forte inertie thermique**
- Conductivité thermique λ **entre 1,5 et 1,7 W/m.K**
- Limite la transmission des bruits
- Imputrescible
- Recyclable
- Empreinte carbone moyenne : **$\approx 200 \text{ kg CO}_2 \text{ eq /m}^3$**



Mise en Œuvre

Plusieurs étapes sont nécessaires pour assurer une bonne qualité au béton :

- Préparation du coffrage et des armatures
- **Coulage** du béton frais dans le coffrage
- **Vibration** du béton
- **Cure** du béton
- Décoffrage du béton durci



Ajout d'eau interdit → Chute drastique des résistances



Les Bétons Courants : matériaux clé de la construction

Fabrication

- ✓ Dans une bétonnière sur le chantier
- ✓ En centrale à béton puis transporté frais via un camion toupie sur le chantier (béton prêt à l'emploi)
- ✓ Dans une usine de préfabrication qui produit des éléments en béton durci

Applications et Usages

Les bétons courants sont utilisés dans la majorité des constructions du quotidien. On les retrouve dans les **logements, écoles, bureaux, hôpitaux**, mais aussi dans les **infrastructures** telles que **les routes, parkings, ponts ou ouvrages d'art**.

Selon leur usage, ils peuvent être **structuraux** — lorsqu'ils participent à la résistance et à la stabilité de l'ouvrage (fondations, poteaux, poutres, dalles, voiles) — ou **non structuraux**, lorsqu'ils remplissent des fonctions de remplissage, de protection ou d'aménagement (chapes, dallages, bordures, trottoirs)

Cadre Réglementaire

- Norme **NF EN 206+ A2/CN** pour les exigences de fabrication, de spécification et de contrôle des bétons
- **Eurocode 2** pour le calcul des structures en béton armé et précontraint.
- **DTU 20.1** pour l'exécution des bâtiments en béton
- **Fascicule 65** pour l'Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint »
- Norme **NF EN 13369** : norme de référence pour la fabrication des produits préfabriqués structuraux

Illustration : Mise en œuvre du béton courant pour la réalisation d'une structure de bâtiment (poteaux, poutres et dalles en béton armé).



Les Bétons Bas Carbone : Construire l'avenir avec un impact réduit

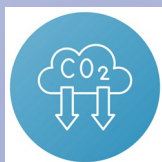
Les **bétons Bas Carbones** (à **empreinte environnementale réduite**) sont des bétons conçus pour **réduire significativement leur empreinte carbone (CO_2)**, à **performances équivalentes d'un béton de référence courant**.

L'urgence de la Décarbonation

14 milliards

de m^3 par an

Volume mondial de béton utilisé,
matériau de construction le plus utilisé



5 à 7 %

des émissions mondiales de GES

La production du clinker dans le
ciment est le principal responsable de
l'empreinte carbone du béton

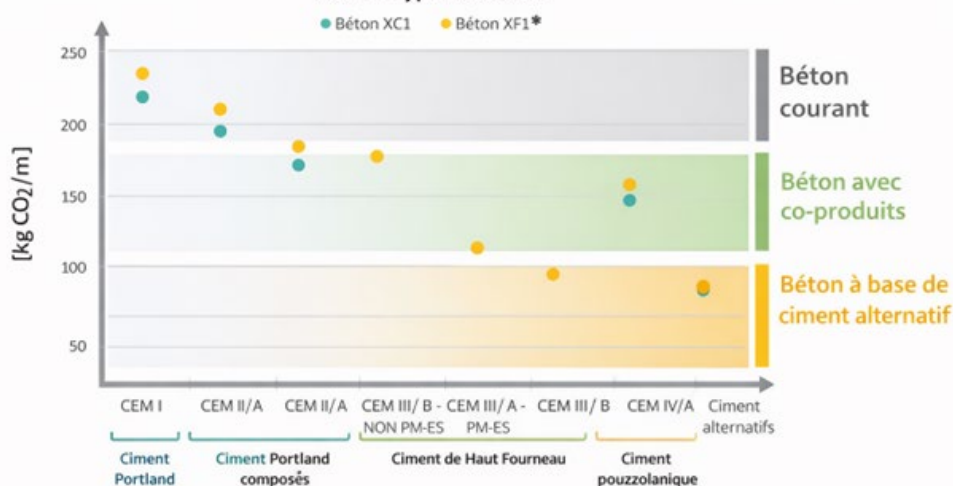
Objectifs de réduction : -80% d'ici 2050

L'industrie française vise une baisse de 35% en 2030 et 80% en 2050
pour atteindre la neutralité carbone

Compositions

- **Utilisation de liants décarbonés**
 - **Ciments normalisés composés** à teneur réduite en clinker : CEM III, CEM IV, CEM II-C, CEM VI
 - **Mélange Ciment + Additions** (laitier, cendres volantes, filler calcaire)
 - **Liants alternatifs innovants** : Laitiers alkali activé, Géopolymères, Liants au Biochar etc...
- **Optimisation du squelette granulaire et de l'adjuvantation**

Empreinte carbone des bétons C25/30
selon le type de ciment



Cadre Réglementaire

- Conformes à **NF EN 206+A2 /CN** dans le cas d'utilisation de ciments et additions, **classes GWR**
- **Sous Avis Technique** pour les liants alternatifs innovants

Les Bétons Bas Carbone : Construire l'avenir avec un impact réduit

Performances / Mise en Œuvre

- Performances mécaniques et durabilité identiques à long terme (28 et 90j) aux bétons courants
- Le degré de complexité de la mise en œuvre est directement lié à la performance carbone des bétons
- Importance de la cure
- Performances au jeune âge (1à 2 jours) pouvant être réduite et temps de prise légèrement plus long

0 à -30%
de CO₂e

Respect de la norme :
Applicabilité des bétons non modifiée

entre
30 et 60%

Restrictions d'usage :
Adaptation des temps de décoffrage et prise en compte de différents niveaux de risques

au-delà
de 60%

Béton hors norme EN 206:
Recours à des ATEX, essais... qui prennent du temps malgré la loi ESSOC et peuvent être coûteux



Températures

La saisonnalité et les températures extérieures influencent le choix des bétons bas carbone.

En dessous de 10 à 5°C le recours à des bétons bas carbone est remis en cause (cas des laitiers principalement)



Temps de séchage (prise)

Entre 14h et 20h pour des béton « bas carbone », jusqu'à 40h pour des très peu carbonés

Applications et Usages

- Identiques aux bétons courants
- Particulièrement adaptés aux projets soumis à la réglementation environnementale RE 2020, qui fixe des seuils stricts d'émissions de CO₂ pour les bâtiments, ainsi qu'aux projets d'écoconception

Illustration :

L'ÎLOT FERTILE, SITUÉ À PARIS

L'ÎLOT FERTILE, SITUÉ DANS LE 19^{ÈME} ARRONDISSEMENT DE PARIS EST UN EXEMPLE EMBLÉMATIQUE D'URBANISME DURABLE ET D'USAGE DE MATÉRIAUX BAS CARBONE.

- ✓ Formulation spécifique CEM III/A 42,5N
- ✓ 40% d'économies de CO₂ sur l'ensemble du projet
- ✓ 1300 T CO₂ éq évitées



ECOLE FRANÇAISE
DU BÉTON

www.ecole-beton.fr

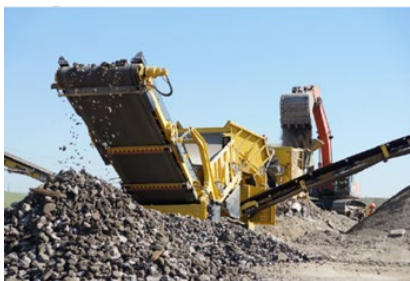
Le Béton Recyclé : Vers une construction circulaire

Le **béton recyclé** est un béton intégrant des granulats issus du recyclage de bétons de déconstruction. Il permet de **réutiliser des matériaux existants** et de **réduire l'extraction de ressources naturelles** dans une logique d'économie circulaire.

Composition et Formulation

- Identique aux bétons courants
- Substitution d'une partie des granulats naturels par des granulats recyclés, taux max suivant application
- **Granulats recyclé type 1** : Issus exclusivement de béton propre de déconstruction (provenance identifiée, suivi qualité accru).
- **Granulats recyclé type 2** : Issus d'un mélange de béton et de matériaux minéraux (briques, tuiles)

Application	Type de granulat recyclé	Taux maximum de substitution (en masse)
Béton armé (XC1 à XC2)	Type 1	Jusqu'à 60 %
Béton armé (XS, XD, XF)	Type 1	20 à 30 %
Béton précontraint (XC1)	Type 1	Jusqu'à 15 %
Béton non structurel	Type 1 ou Type 2	Jusqu'à 100 % (Type 1), 40 % (Type 2)



Performances et Précautions

- Les **granulats recyclés étant plus poreux**, la formulation du béton doit être ajustée pour obtenir les propriétés souhaitées à l'état frais et durci (dosage eau, adjuvants)
- **Jusque 5 % de taux de substitution**, performances identiques à béton courant
- **Au-delà de 5% de substitution**, les éléments en béton ayant des fonctions porteuses ou séparatrices et une demande de **résistance au feu** spécifique nécessitent d'**intégrer 2kg fibres polymères/m³** dans les bétons.
- Redimensionnement des ouvrages **au-delà de 15% de substitution** de granulats naturels
- **Importance de la cure** lors de la mise en oeuvre

Le Béton Recyclé : Vers une construction circulaire

Applications et Usages

Les bétons à base de granulats recyclés peuvent être utilisés dans une **large gamme d'applications, structurales ou non**, y compris pour des éléments en béton précontraint, conformément aux normes en vigueur.

Ils sont employés aussi bien dans la construction de **bâtiments** que pour des ouvrages de **génie civil et des aménagements urbains**, offrant ainsi une solution durable pour divers projets de construction.



Cadre Règlementaire

- **NF EN 206+A2/CN** : Définit les taux de substitution admissibles, les classes qui y sont liés (R0 à R7) et les critères de qualité
- Respect à l'amendement de l'annexe nationale de **l'Eurocode 2** partie 1-1 et 1-2 :
- **NF EN 1992-1-1/NA/A1** : Ajustements pour le dimensionnement des bétons structuraux et précontraints.
- **NF EN 1992-1-2/NA/A2** : Précisions sur le comportement au feu des bétons recyclés.

Illustration

Recygénie est un projet de construction de logements (76 logements sociaux) à **Gennevilliers (92)** considéré comme une **première mondiale** : la réalisation d'un immeuble en **béton entièrement recyclé** :

- granulats recyclés issus de démolition
- ciment fabriqué avec un clinker 100 % recyclé
- eau recyclée provenant du process industriel

Le béton recyclé est utilisé pour la **superstructure du bâtiment**.



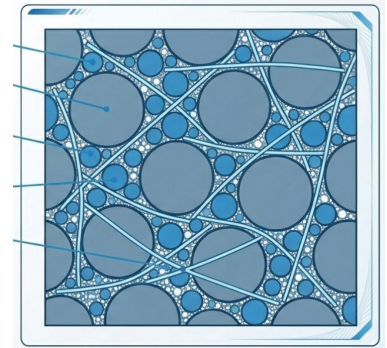
Le BFUP : L'alliance de la haute technologie et de l'esthétique

Le **BFUP** est un **Béton Fibré Ultra hautes Performances**, béton de nouvelle génération conçu pour offrir **une résistance mécanique, une durabilité et une compacité exceptionnelles**, bien supérieures à celles d'un béton traditionnel.

Composition et Formulation

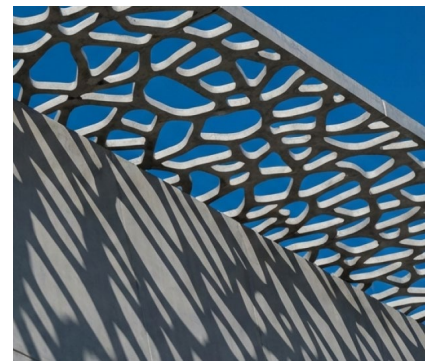
- **riche en liant** (ciment + additions fines comme fumée de silice)
- composé de **granulats très fins** (sables siliceux ou calcaires),
- renforcé par des **fibres métalliques ou organiques**,
- formulé avec un **très faible rapport eau/liant (≤ 0.25)** et avec des adjuvants superplastifiants, retardateurs

Résultat : une microstructure extrêmement dense et homogène.



Performances

- Résistance en compression : **120 à 250 MPa** ($\approx x 3$ à 5 vs béton courant)
- Résistance en traction : **> 6 MPa** grâce aux fibres (comportement ductile)
- **Absence de ferrailage passif**
- Très faible porosité $\rightarrow$ excellente **durabilité (150 ans)**
- **Résistance** exceptionnelle au **gel/dégel**, aux **chlorures** et à la **corrosion**, à l'**abrasion** et aux **environnements marins ou industriels**
- Possibilité de réaliser des **éléments très minces et légers**



Précautions - Mise en Œuvre

- Le malaxage du BFUP est **beaucoup plus long et énergique** qu'un béton classique
- Le BFUP est généralement **autoplaçant (très fluide)**, mais sa fenêtre d'ouvrabilité est courte.
- Le BFUP exerce une **pression quasi hydrostatique** sur les coffrages, ce qui exige des coffrages résistants et très étanches avec l'application d'un agent de démoulage de qualité
- Le BFUP doit être coulé **de façon continue et maîtrisée**
- **La cure est déterminante** pour atteindre les performances



Le BFUP : L'alliance de la haute technologie et de l'esthétique

Applications et Usages

*Structures ou Parties de Structures :

- Soumises à des **environnements agressifs**
- Pour lesquels un **gain de poids** est intéressant
- Soumises à des **chocs importants**
- Pour lesquelles la complexité et la densité de ferrailage traditionnel serait trop compliquée

*Éléments de design (liberté de formes)



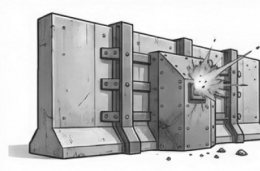
Infrastructures

- Ponts, passerelles, poutres précontraintes (Légèreté et portée).



Architecture

- Façades complexes, éléments autoportants (Liberté de forme).



Sécurité

- Blindages, protections contre les explosions (Absorption d'énergie).

Cadre Règlementaire

Normes BFUP : NF P18-470 (matériau), NF P18-710 (dimensionnement) et NF P18-451 (exécution).

Bénéfices Environnementaux

- Réduction de l'empreinte carbone grâce à l'**optimisation des dimensions des structures**, permettant une **utilisation moindre de matière tout en conservant des performances mécaniques élevées**.
- Durabilité exceptionnelle, **diminuant les besoins en réparations et en entretien**, ce qui limite les consommations futures de matériaux et d'énergie.

Le MuCEM : L'audace de la résille en bord de mer

Location : Marseille, Fort Saint-Jean

Application : Façades en **résille de BFUP ajouré**, poteaux arborescents, passerelles audacieuses.

Why BFUP? : Offrir un esthétisme fin tout en garantissant une durabilité totale face aux embruns marins agressifs.

La Fondation Louis Vuitton :
Complexité Géométrique
Usage de parements en BFUP pour créer des voiles architecturaux complexes

APRR : La régénération stratégique des ouvrages d'art

Contexte : Réseau autoroutier

Application : Renforcement et réparation des ponts et viaducs.

Why BFUP? : Prolonger la durée de vie des ouvrages existants. Utilisation de la **résistance exceptionnelle** pour éviter la reconstruction totale.

Les bétons légers : Différentes solutions pour des performances adaptées

Les **bétons légers** regroupent les bétons dont la masse volumique est inférieure à celle d'un béton courant. Ils permettent **d'alléger les ouvrages** tout en conservant les atouts du béton et **d'améliorer l'isolation thermique et acoustique**.

Composition

- **Bétons légers normalisés**
Introduction de granulats légers tels que de l'Argile expansée, schiste expansé, pierre ponce ou billes de polystyrène
- **Bétons de mousse**
Introduction d'air par mélange d'une mousse avec la pâte de ciment
- **Béton cellulaire ou autoclavé**
Mélange de Sable, ciment, chaux, eau et poudre d'aluminium qui crée des bulles d'air, structure alvéolaire, durcissement en autoclave



Principales Caractéristiques

	Bétons légers normalisés	Bétons de mousse	Béton cellulaire
Masse volumique	800 à 2000 kg/m ³	40 à 500 kg/m ³	450 à 600 kg/m ³
Résistances Rc	De 8 MPa à ≥ 40 MPa	0 à 3 MPa	3 à 6 MPa
Isolation thermique	Meilleure que béton courant ($\lambda < 1,7$ W/m.K)	Excellente (λ entre 0,04 et 0,12 W/m.K)	Bonne (λ entre 0,1 et 0,22 W/m.K)
Usage structurel	Oui qd $M_v > 1400$ kg/m ³	Non, en remplissage uniquement	Possible en maçonnerie porteuse
Mise en oeuvre	Coulé comme un béton courant	Pompable et autonivelant	Blocs/Panneaux préfabriqués
Cadre réglementaire	Couverts par NF EN 206+A2/CN	Avis Technique	Norme produit NF EN 771-4

Les bétons légers : Différentes solutions pour des performances adaptées

Applications et Usages

Béton légers normalisés	Béton de mousse	Béton cellulaire
• Rattrapage de niveaux et chapes allégées (planchers, toitures-terrasses) • Réhabilitation et surélévation grâce à la réduction des charges • Dalles et planchers structurels allégés • Poutres, voiles et éléments porteurs en béton léger • Isolation acoustique	• Solutions d’isolation : bloc à isolant intégré et isolation des combles • Remblais léger et chape de ravaillage pour la rénovation • Remplissage isolant de vides et de cavités	• Blocs de maçonnerie pour murs porteurs ou non porteurs • Murs extérieurs à isolation intégrée • Cloisons légères • Panneaux de plancher • Panneaux de toiture • Réhabilitation et surélévation



Coulage d’une chape allégée fluide sur un plancher bois



Blocs béton remplis de béton de mousse



Maison neuve en blocs de béton cellulaire

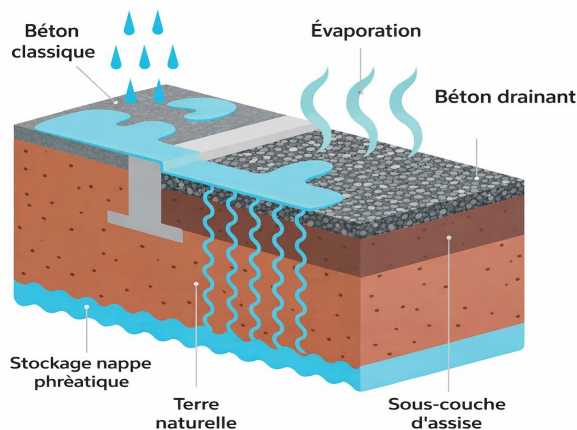
Le Béton Drainant : Une Solution Durable pour la Gestion des eaux

Le **béton drainant** est un matériau de construction **poreux qui permet à l'eau de s'infiltrer directement dans le sol**, réduisant le ruissellement et les risques d'inondation et luttant contre les îlots de chaleur urbains.

Composition et Formulation

Il est composé de granulats, de ciment et d'adjuvants spécifiques, et d'un **très faible taux de fines** (pas de sable), ce qui crée des **vides interconnectés** facilitant le passage de l'eau.

💡 Des produits innovants existent tels que des bétons drainants avec des **déchets de coquillages** en substitution des granulats



Performances

- ✓ **Pouvoir hautement perméable** : de 10 à 35% de porosité, une perméabilité pouvant aller jusque 5 cm/s (perf 1 000 fois supérieure à une pluie extrême en France)
- ✓ **Une résistance au trafic limitée** : La résistance du béton drainant étant plus faible qu'un béton ordinaire, il peut se dégrader en surface (gravillonnage) et n'est pas adapté aux routes. Sa résistance mécanique va de BC2 ($R_{tb} = 1,7 \text{ MPa}$) à BC4 ($R_{tb} = 2,4 \text{ MPa}$).
- ✓ **Un entretien régulier** : Sa porosité favorise l'accumulation progressives de saletés en surface



Mise en Œuvre

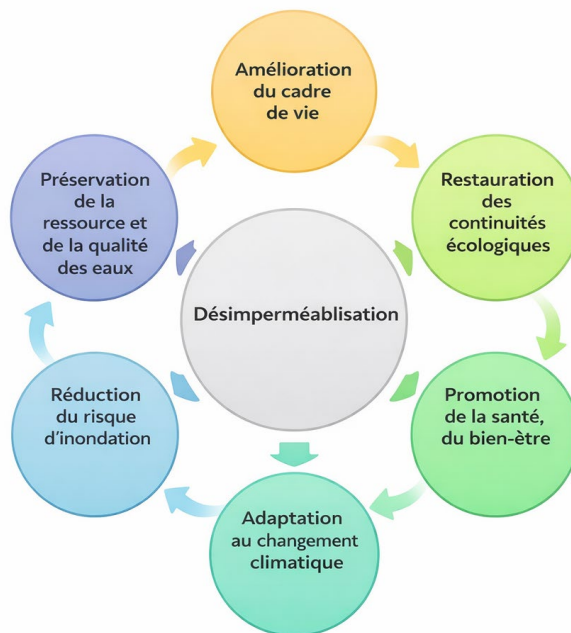
- La mise en oeuvre du béton drainant se fait par **compactage** (et non vibration).
- Le délai de mise en oeuvre du béton drainant est court.
- Sur une **sous-couche de graviers** bien compactée à la règle vibrante, le béton drainant est **nivelé et réglé** à une surépaisseur adéquate puis **compacté manuellement ou grâce à un rouleau lesté**, ou un **patin vibrant**. Un produit de **cure** est ensuite appliqué sur la surface.
- La pose de **pavés de béton drainants préfabriqués** est également une solution intéressante avec une mise en oeuvre facilitée.



Le Béton Drainant : Une Solution Durable pour la Gestion des eaux

Applications et Usages

- Adapté aux projets **d'aménagements urbains d'espaces piétons** ainsi qu'**aux surfaces à faible trafic**, avec forte demande de **réduction des risques d'inondation et de gestion des eaux pluviales** : allées piétonnes, trottoirs, pistes cyclables, aires de jeux, parcs sportifs, parvis, patios, parkings VL, cours d'école, entourage d'arbres...
- Autres domaines d'application : **abords de terrasse**, allée de jardin, **allée de garage**, plage de piscine...



Cadre Règlementaire

Conformes à **NF EN 206+ A2/CN**
Normes produits **NF EN 1338 : Pavés en béton**

Normes relatives d'exécution :
NF P98-170 pour une utilisation en voirie.
NF P90-110 pour les terrains sportifs



Illustration :

VÉGÉTALISATION DE LA COUR D'ÉCOLE MARCEAU AU PLESSIS-TRÉVISE (94) AVEC UN PASSAGE DE 84% DE SURFACE PERMÉABLE À 13% GRÂCE AU BÉTON DRAINANT

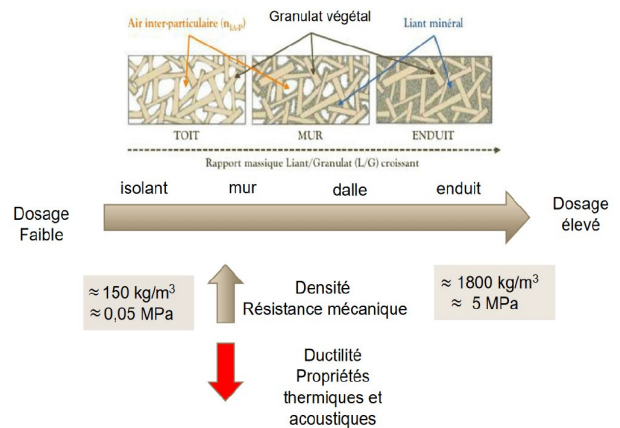
Le Béton biosourcé : un levier pour la construction durable

Les **Bétons biosourcés** sont des bétons qui utilisent **des granulats végétaux** à la place du sable et des gravillons traditionnels. Ils sont particulièrement utilisés pour leurs **performances thermiques, hygrothermiques et environnementales**.

Composition

- Liant minéral (chaux, ciment prompt et ciment)
- Granulats végétaux (Chènevotte (chanvre), copeaux de bois, miscanthus, cosses de riz, lin)
- Eau
- Adjuvants

Dosage en liant suivant l'usage (isolant → enduit)



Caractéristiques et Performances

- **Léger** : Faible densité **250 à 1500 kg/m³**
→ 3 à 10 fois plus léger qu'un béton classique
- Résistance en compression **limitée** : **0,05 à 5 MPa**
- **Isolant** : Faible conductivité thermique : **0,07 à 0,15 W/m·K**
- **Perspirant** : Forte perméabilité à la vapeur d'eau
- Capacité de stockage/déstockage d'humidité
- **Absorption acoustique** élevée
- Bonne **résistance au feu**



Mise en Œuvre

- Utilisés principalement en **remplissage d'ossature bois**, en béton **banché, projeté ou en blocs**.
- Mise en place **sans vibration**, par couches légèrement compactées pour préserver la porosité.
- **Protection indispensable contre la pluie** pendant le chantier.
- **Temps de séchage long** (plusieurs semaines) → éviter la fermeture rapide des parois.
- Enduits **perspirants** et **détails constructifs adaptés** pour assurer la durabilité (gestion des remontées capillaires et débords de toiture)

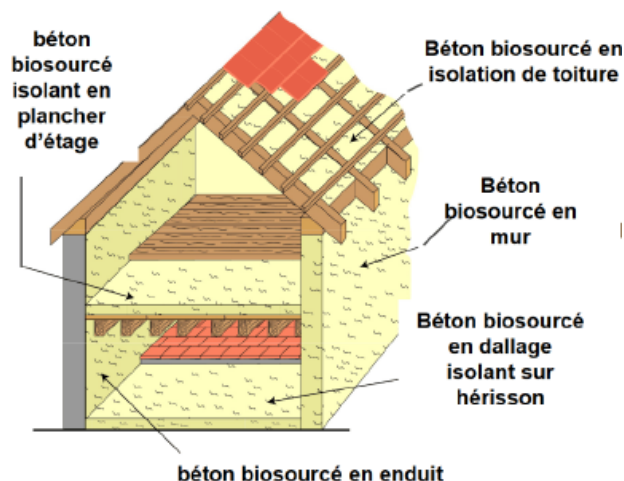
Cadre Réglementaire

- **Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrages en Bétons de Chanvre** (mise à jour 2024)
- **NF EN 14474** : Bétons utilisant des copeaux de bois comme granulat.
- **NF EN 15498** : Blocs de coffrage en béton bois.
- **Avis Techniques**

Le Béton biosourcé : un levier pour la construction durable

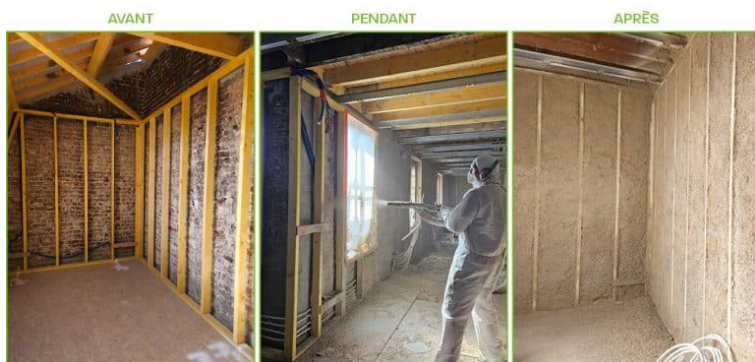
Applications

- **Remplissage d'ossature bois** : murs extérieurs et intérieurs (usage principal).
- **Isolation thermique des parois** : murs, toitures et planchers.
- **Blocs préfabriqués** pour murs porteurs.
- Enduits isolants en **rénovation du bâti ancien**.
- **Dalles et chapes** légères isolantes.
- **Correction acoustique** dans logements, écoles ou équipements publics (murs anti-bruit).
- **Réhabilitation énergétique** et constructions neuves bas carbone.



Bénéfices Environnementaux

- **Puits de carbone** : Les granulats végétaux absorbent du CO₂ pendant leur croissance et le stockent durablement dans le bâtiment.
- **Faible empreinte carbone** : Moins d'énergie grise que les matériaux conventionnels d'isolation et de remplissage.
- **Ressources renouvelables** : Utilisation de matières premières végétales issues de cultures annuelles ou de coproduits forestiers/agricoles.
- **Contribution à l'économie locale et circulaire** : filières agricoles et transformation locale.



Rénovation bâti ancien

Isolation par l'intérieur en béton de chanvre projeté



Construction Neuve

Façades en béton de bois préfabriqués

Le béton imprimé en 3D : innover pour construire autrement

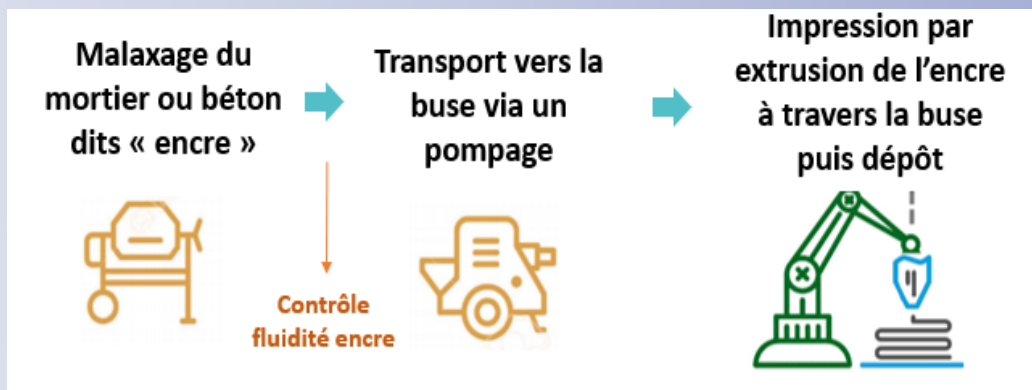
Le **béton imprimé en 3D** est une **technologie de construction innovante** qui consiste à fabriquer des éléments ou des structures en **déposant du béton couche par couche** à l'aide d'un bras mobile robotisé, **sans coffrage** traditionnel.

Composition des « encres cimentaires »

- **riche en liant cimentaire** (ciment + additions fines)
- **granulats fins** (sables)
- Superplastifiant fluidifiant et accélérateur de prise
- **Mono-composant** : matériau ferme faiblement accéléré
- **Bi-composant** : matériau fluide accéléré au niveau de la tête d'impression



Etapes de fabrication



En atelier :



Sur chantier :



Le béton imprimé en 3D : innover pour construire autrement

Applications

- Abris pour les conditions extrêmes (espace, armée et nucléaire)
- Mobiliers urbains
- Récifs marins
- Regards, Puits de réservation
- Coffrages complexes perdus
- Murs en panneaux complexes
- Poteaux
- Bâtiments et Maisons
- Passerelles

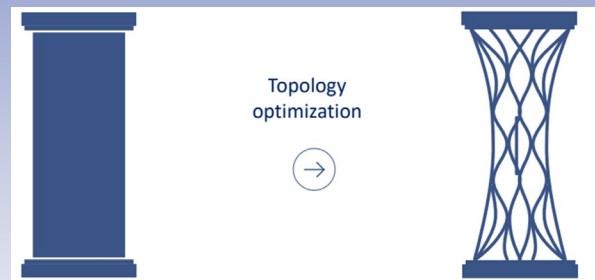
Cadre Règlementaire

Sous Avis Technique



Avantages et Bénéfices

- Liberté de formes
- Economie de matière
- Rapidité de construction
- Zéro déchet
- Sur mesure
- Moins de pénibilité



Pose d'un regard en béton 3D



Récifs sous marins



Immeuble en béton 3D



www.ecole-beton.fr

