



CONSTRUCTION DURABLE & MATÉRIAUX

QUELLES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES POUR LES LOGEMENTS COLLECTIFS
EN MILIEU URBAIN DENSE MÉDITERRANÉEN ?



SOMMAIRE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÉDITO | p.4 |
| INTRODUCTION | p.5 |
| 1/ LES ENJEUX DE LA CONSTRUCTION DURABLE MÉDITERRANÉENNE | p.7 |
| 2/ LES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES DURABLES | p.13 |
| Solution 1 : Structure et façades béton bas carbone avec isolation thermique intérieure en matériaux biosourcés et/ou recyclés..... | p.14 |
| Solution 2 : Structure et façades béton bas carbone avec isolation thermique extérieure..... | p.16 |
| Solution 3 : Structure béton bas carbone et façades en ossature bois..... | p.18 |
| Solution 4 : Structure bois porteuse CLT et façades bois..... | p.20 |
| 3/ LE DÉVELOPPEMENT DES MATÉRIEAUX ISSUS DE FILIÈRES LOCALES | p.23 |
| 4/ MATÉRIEAUX : R&D ET SOLUTIONS D'AVENIR | p.27 |
| ANNEXE 1 : Tableau des produits isolants..... | p.30 |
| ANNEXE 2 : Potentiel de réchauffement climatique et isolants..... | p.32 |
| ANNEXE 3 : Comparatif des solutions constructives à résistance thermique équivalente $R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ | p.33 |
| ANNEXE 4 : Empreinte carbone du béton sur le périmètre d'Euroméditerranée | p.34 |

Cette publication est rédigée par l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM) et l'association EnvirobatBDM.

Nous remercions l'ensemble des participants du groupe de travail ; ainsi que Magali Chaperon (Eiffage construction), Chantal Carrié (Côte d'Azur Habitat), Jean Paul Roda (Roda Architectes), et Phillipe Cervantes (A+ Architecture) pour leurs interviews ; Christiane Wanaverbecq (Le Moniteur) ainsi que Hubert Fèvre (Gaujard Technologies SCOP), Luc Floissac (Éco-Études) et Sophie Gentil (Sowatt) pour la relecture du document.

Crédits photos : Michèle Clavel (première de couverture, p.2), Camille Moirenc (p.6), Tautem Architecture (p.8), Jérôme Cabanel (p.11), Laurent Carte (p.12), Eiffage (p.15), Billy et Goffard Architectes (p.17), Roda Architectes et Bruno Romain (Hakunah) (p.19), A+ Architecture et Benoît Wehrlé (p.21), Luc Floissac (p.22), Jaime Navarro (P.26), CB design (p.35).

Décembre 2018 - Réalisation : Studio Magellan

ÉDITO



LE MOT DE HUGUES PARANT,

DIRECTEUR GÉNÉRAL D'EUROMÉDITERRANÉE

“ Le partenariat fort qui lie Euroméditerranée et EnvirobatBDM vise à contribuer à la définition d'un modèle de ville durable Méditerranéenne à travers l'émergence de logements adaptés aux spécificités économiques, climatiques et d'usage de l'arc Méditerranéen.

La question des matériaux fait partie des enjeux fort eux égards aux considérations environnementales : émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie et des ressources mais aussi de confort d'habiter et d'identité architecturale.

Les solutions proposées par les industriels sont en perpétuelle évolution et prennent de plus en plus ces éléments en compte, ainsi cette publication a vocation à partager l'ensemble des solutions existantes avec les différents acteurs de la construction Méditerranéenne.



LE MOT DE CHRISTIANE MARS,

PRÉSIDENTE D'ENVIROBATBDM

“ Généraliser la ville durable est un enjeu planétaire auquel tous les acteurs de la construction et de l'aménagement doivent s'atteler. Grâce à de l'action menée sur son périmètre, Euroméditerranée tente d'apporter des réponses adaptées, en conciliant densité, urbanité et durabilité.

C'est tout naturellement que nos deux structures se sont rapprochées pour expérimenter l'adaptation de la démarche Bâtiments Durables Méditerranéens à ce contexte. La question des matériaux employés sur les bâtiments de moyenne et grande hauteur fait partie des principaux champs d'innovation à l'heure actuelle.

C'est ce que nous souhaitons présenter aux maîtres d'ouvrage dans ce guide.



INTRODUCTION

CONSTRUIRE DURABLE EN MILIEU URBAIN DENSE MÉDITERRANÉEN, IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET MATÉRIAUX

Le secteur du bâtiment représente 45 % de la consommation énergétique et 20 % des émissions de dioxyde de carbone en France. En métropole, le bâtiment constitue ainsi le 2^e poste d'émissions de gaz à effet de serre (GES), après le transport.

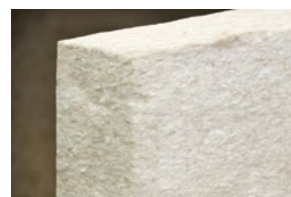
Ce constat a conduit l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM) à initier un partenariat avec l'association EnvirobatBDM pour établir une grille d'évaluation multicritères de la qualité environnementale des opérations de logement développées sur le périmètre de l'Opération d'Intérêt National (OIN). Ce partenariat a d'ores et déjà permis d'engager la reconnaissance de 14 bâtiments dont 1 170 logements.

La loi de transition énergétique prévoit de renforcer les efforts dans le domaine de la construction. Cela se traduit par la mise en place d'une réglementation environnementale à horizon 2020. Cette future réglementation, qui dépasse l'approche énergétique de la Réglementation Thermique 2012 (RT 2012), intègre une Analyse du Cycle de Vie des bâtiments (ACV). Euroméditerranée et EnvirobatBDM souhaitent profiter de la phase d'expérimentation initiée par le Ministère en lien avec l'ADEME, pour faire valoir la dimension méditerranéenne et proposer des solutions adaptées aux enjeux urbains, climatiques et économiques.

Dans ce contexte, EnvirobatBDM et Euroméditerranée ont initié un groupe de travail sur les matériaux dans le but de faire converger les enjeux environnementaux, de confort et de maîtrise des coûts de construction.

Ce groupe de travail a eu pour ambition de valider la faisabilité de plusieurs solutions constructives en logements collectifs en contexte urbain dense tout en répondant aux prérequis matériaux du niveau Or, niveau le plus ambitieux de la démarche BDM.

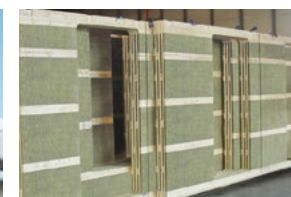
Ce document présente la synthèse de ce groupe de travail. Il a vocation à partager des retours d'expériences et des solutions constructives afin de pouvoir proposer aux acteurs du territoire les fruits de cette nouvelle approche partagée.



Biofib'trio (chanvre, lin, coton)



Webertherm XM Natura (liège)



Panobloc (bois et laines minérales)



Métisse (coton recyclé)



1

LES ENJEUX DE LA CONSTRUCTION DURABLE MÉDITERRANÉENNE

LES ENJEUX DE LA CONSTRUCTION DURABLE MÉDITERRANÉENNE

La réflexion initiée par Euroméditerranée et EnvirobotBDM, en lien avec les acteurs de la construction, s'inscrit dans une démarche globale où les modes constructifs et les matériaux sont analysés à l'aune des objectifs de compacité urbaine et d'identité architecturale, de confort notamment d'été, de maîtrise des coûts et évidemment de structuration des filières.

L'IDENTITÉ ARCHITECTURALE : MINÉRALITÉ, DENSITÉ ET COMPACTITÉ



L'EPAEM porte un projet d'extension du centre-ville de Marseille qui répond à des enjeux de compacité afin de limiter l'étalement urbain. Il convient donc d'appréhender la problématique des systèmes constructifs et des matériaux dans l'optique d'apporter des solutions pragmatiques pour les immeubles de 3^e et 4^e familles.*

La mise en place de nouveaux modes de construire plus respectueux de l'environnement et plus performants doit viser à respecter l'identité architecturale de la ville car l'architecture contribue au confort.

L'architecture méditerranéenne est fortement liée à sa géographie. Elle a plusieurs particularités notables comme un rapport accru à l'extérieur développant des terrasses, des loggias et des patios qui répondent au mode de vie local et aux problématiques climatiques en particulier : la protection du mistral, la maîtrise des apports solaires et la ventilation naturelle.

Vivre en méditerranée c'est aussi entretenir un lien particulier avec la mer ; sa perception et la mise en valeur des vues depuis les logements ou les espaces collectifs sont importantes. L'orientation des baies et l'implantation des volumétries bâties vont permettre de bénéficier des brises marines en matière de rafraîchissement.

De même, la lumière et le soleil impactent l'architecture méditerranéenne : les volumes sont simples mais se dessinent en alternance de pleins et de vides, ménageant une variété d'épaisseurs qui permettent de limiter les effets du soleil et du zénith et devenant même lieux d'usages. Les systèmes d'occultations complètent ces dispositifs en permettant une variation de configurations au gré des besoins.

*Définition 3^e et 4^e famille : Les bâtiments d'habitations sont classés en 4 familles du point de vue de la sécurité incendie, la 3^e famille regroupe les habitations avec le plancher bas du logement le plus haut à maximum 28 mètres au-dessus du sol accessible aux engins de secours incendie. La quatrième famille regroupe les habitations dont le plancher bas du logement le plus haut est situé entre 28 et 50 mètres au-dessus du niveau du sol accessible aux engins de secours incendie.

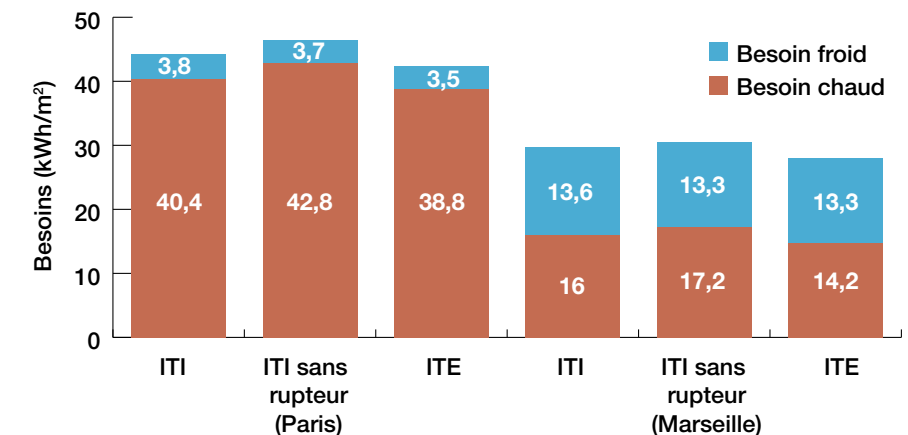
Enfin, la minéralité claire développée dans l'architecture traditionnelle marseillaise permet d'apporter, de façon durable, l'inertie nécessaire pour affronter un climat rude et très contrasté : chaleur et pluviométrie brutales. Cette minéralité permet également de proposer une réponse aux enjeux d'îlots de chaleur urbains via un albédo optimisé.

Dans un objectif de cohérence urbaine, cette minéralité et les variations permises par les techniques contemporaines sont développées de manière inédite dans le cadre du projet mené par Euroméditerranée

LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE ET PLUS PARTICULIÈREMENT DE CONFORT D'ÉTÉ

Le confort d'habiter en milieu urbain dense doit être au cœur des préoccupations des acteurs de l'acte de bâtir. Cet objectif induit une meilleure maîtrise du confort thermique, acoustique et visuel. Le confort thermique, notamment à travers le confort d'été, est un élément particulièrement important à prendre en compte lors de la conception d'un logement en méditerranée à cause des fortes chaleurs estivales.

Les problématiques de systèmes constructifs et des matériaux doivent, en ce sens, être croisées avec les problématiques d'isolation, au travers des systèmes mis en œuvre : Isolation Thermique par l'Intérieur (ITI) ou Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE). Ces choix ayant une incidence importante sur la réglementation incendie (IT 249).



Résultats STD des besoins énergétiques pour un bâtiment de logements selon le type d'isolation à Paris et à Marseille (Étude réalisée par Oasiis pour Euroméditerranée)

Pour le logement, l'intérêt d'avoir recours à une isolation thermique par l'extérieur est très limité en termes de besoins énergétiques (comme le montre le graphique ci-dessus) et de confort d'été.

En ce sens, il faut trouver des matériaux permettant un bon compromis entre une forte inertie et un bon déphasage (10 à 12h) ainsi qu'une bonne capacité isolante : conductivité thermique inférieure à 0,04 W/m.K avec une épaisseur maîtrisée.

Quelque soit le système constructif retenu, il est primordial d'associer une ventilation adéquate permettant d'évacuer les calories emmagasinées dans le logement.

LES ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

Aux réglementations sismique, incendie et thermique déjà en vigueur, vient s'ajouter la prise en compte de l'analyse du cycle de vie, au travers de l'expérimentation E+C- (énergie plus, carbone moins), rajoutant ainsi de nouvelles contraintes pour l'acte de bâtir.

La multiplicité de ces contraintes rend la convergence de l'ensemble des problématiques difficiles. Cette complexité est d'autant plus présente en milieu urbain dense. En effet, les constructions nécessitent des quantités importantes de matériaux et les contraintes réglementaires y sont nombreuses, dues notamment à la hauteur des bâtiments.

L'enjeu est de mettre le bon matériau au bon endroit permettant d'obtenir le maximum de garanties compte tenu des paramètres précédemment évoqués.

Pour cela, le développement des filières doit permettre la réalisation d'avis techniques (ATEC), de certificats ACERMI (Association pour la CERTification des Matériaux Isolants), de fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) ou de configurateurs tels que BETie pour la filière béton. Les matériaux doivent, de plus, être pérennes eu égard à l'environnement pouvant être « agressif » sur le périmètre d'Euroméditerranée (proximité de la mer et pollution importante).

STRUCTURATION DES FILIÈRES

La structuration des filières, l'industrialisation des systèmes constructifs, la formation des acteurs et la diminution de la non-qualité doivent permettre de faire baisser les prix et d'augmenter les capacités de matériaux disponibles.

L'enjeu final est bien la maîtrise du coût global (prix à l'investissement, pérennité, réduction des coûts en fonctionnement, savoir-faire et formation des entreprises) afin de veiller à l'accessibilité financière des opérations de logements (« low cost easy tech ») et à la mixité sociale.

Depuis plusieurs années, la structuration des filières de matériaux biosourcés a connu un essor significatif, confirmé par le positionnement récent d'acteurs majeurs du secteur du bâtiment. Dans le domaine des isolants, toutes les fibres disposent désormais de filières industrialisées, implantées sur le territoire français. Seul le secteur du bois de structure est en retrait et connaît un développement plus récent.

L'arrivée récente de ces matériaux sur les marchés nécessite une adaptation des savoir-faire. Les fabricants fournissent des guides de pose et organisent des sessions de formations. Dans différentes régions, des formations sont mises en place, notamment via les plateformes Praxibat de l'Ademe (plateau PRAXIBAT du centre AFPA de Marseille-La Treille).

Un ensemble de matériaux répondant à ces différents enjeux est présenté en **annexe 1 page 30**.

LES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES DURABLES : LA MÉTHODE

Ci-après sont présentées quatre solutions constructives (structure & paroi extérieure) permettant de répondre aux prérequis « Or » de la démarche BDM. Celles-ci sont la synthèse du groupe de travail et s'appuient, notamment, sur des modélisations réalisées par Luc Floissac, (Conseiller environnemental, bureau d'études Écoétudes) et de retours d'expériences de l'expérimentation E+C-. Les solutions retenues mettent en avant une sélection non exhaustive de produits.

Toutes les solutions ont une résistance thermique comparable (supérieure à 4 m².K/W).

Leurs différences de performances se situent donc au niveau de :

- leur épaisseur
- leur déphasage
- leurs impacts environnementaux : énergie procédé (grise) et émissions de gaz à effet de serre

Il est important de noter, qu'à ce jour, E+C- ne prend pas en compte le stockage temporaire de carbone des matériaux biosourcés. En effet, au cours de leur cycle de vie, les végétaux captent du CO₂ atmosphérique durant leur croissance (étape de production), qu'ils stockent pendant leur vie en œuvre (mise en œuvre et utilisation). Selon les scénarios de fin de vie (stockage, brûlage, compostage...), ce carbone est réémis sous forme de CO₂ ou de méthane. La contribution à l'atténuation du réchauffement climatique actuel n'est ainsi pas valorisée.





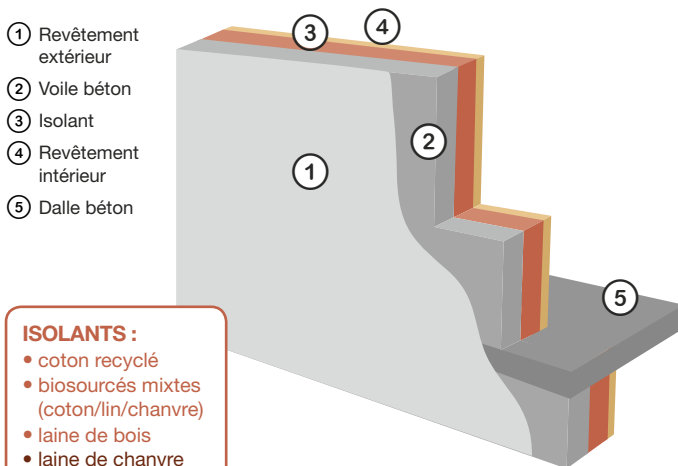
2

LES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES DURABLES

PREMIÈRE SOLUTION

STRUCTURE ET FAÇADES BÉTON BAS CARBONE AVEC ISOLATION THERMIQUE INTÉRIEURE EN MATÉRIAUX BIOSOURCÉS ET/OU RECYCLÉS

Cette solution est une alternative qui permet une réduction significative de l'impact carbone du bâtiment, tout en garantissant de bonnes performances thermiques. Elle présente en outre l'avantage de ne pas bouleverser les techniques de mise en œuvre les plus répandues.



ISOLANTS :

- coton recyclé
- biosourcés mixtes (coton/lin/chanvre)
- laine de bois
- laine de chanvre
- ouate de cellulose

AVANTAGES :

- mise en œuvre identique aux isolants minéraux
- bon affaiblissement acoustique
- déphasage bon à très bon
- peu de contraintes pour la réglementation incendie (classement au feu Euroclasse E ou F – Euroclasse b/S1/d0 en paroi)
- étiquette QAI

INCONVÉNIENTS :

- prix des isolants biosourcés très légèrement supérieurs à la concurrence conventionnelle (excepté pour la ouate)
- entreprises encore peu informées sur ces produits
- façades lourdes
- réduction de la surface habitable (ITI)
- traitement des ponts thermiques plus complexe

QUELQUES CHIFFRES *

Déphasage : de 11h30 à 13h30
Émission de GES (kg_{eq} CO₂) : 102 à 109
Énergie (MJ) : 1276 à 1377
Épaisseur (cm) : 38
Poids (kg) : 520

* Les modélisations sont réalisées sous Cocon pour 1 m² de paroi avec les isolants suivants : métisse, biofib'trio, ouate de cellulose.

L'EXEMPLE



FICHE D'IDENTITÉ

Nom : Smartseille
MOA : Eiffage Immobilier
Architecte : Souto de Moura Sbriglio
BE technique : OTEIS
Entreprise : Eiffage Construction
Année : 2016
Ville : Marseille (13)
Coût total HT : 15 350 000 €
Coût m² HT : 1 400 €
Surface : 10 962 m²
Nombre niveaux : R+8
Revêtement : béton brut

PRÉSENTATION DU PROJET :

S'inscrivant dans la démarche ÉcoCité, Smartseille a pour ambition l'exemplarité en terme de développement durable. Les principaux enjeux du projet étaient : la sobriété énergétique, les services y compris numériques (dans un quartier encore en mutation), la construction durable à travers la dépollution douce et l'emploi de matériaux durable, la mixité et l'évolutivité des espaces, l'éco-mobilité ainsi qu'une gestion optimisée de l'eau et des services écologiques. L'îlot A est un projet labélisé BDM. Cette démarche a servi de fil conducteur tout au long de la phase conception. Tous les autres îlots sont également labélisés BDM.

LE POINT DE VUE DU PROMOTEUR CONSTRUCTEUR

(MAGALI CHAPERON - EIFFAGE CONSTRUCTION)

« Nous avons choisi cette solution constructive car celle-ci permettait de répondre aux exigences de la démarche BDM. Le béton était fortement présent dans la conception, et nous avons donc décidé de réduire son impact en travaillant avec des formules « bas carbone ». L'utilisation du béton bas carbone ne présente pas d'inconvénient car sa mise en œuvre est identique au béton classique. Nos recherches nous ont amené à choisir un revêtement de sol souple ainsi qu'un isolant biosourcé. Le choix de mise en œuvre de la fibre de bois s'est fait en plusieurs étapes : premièrement il fallait trouver un matériau disposant d'avis techniques, deuxièmement le coût du matériau devait être cohérent avec notre approche « Low Cost - Easy tech ». Cette solution est intéressante car elle permet d'avoir un bon bilan carbone et s'inscrit dans des pratiques de mise en œuvre classiques. Cependant, l'utilisation d'isolant biosourcé induit une épaisseur plus importante que l'utilisation d'un isolant classique, ce paramètre est à bien prendre en compte lors de la conception afin de pouvoir conserver la surface utile. »

ZOOM SUR LES MATÉRIAUX

MÉTISSE

Métisse est un isolant en laine de coton recyclé, développé par le réseau d'entreprise le Relais. Il s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire et sociale car il est produit à partir de vêtements en coton non réutilisables en l'état. Les produits d'isolation Métisse existent sous forme de panneaux de 80 à 200 mm ou de rouleaux de 50 à 120 mm et permettent une mise en œuvre classique. Cet isolant offre de bonnes performances thermiques, acoustiques et mécaniques comparables à celles des laines minérales.

BIOFIB'TRIO

L'isolant Biofib'Trio est un isolant mixte fibres de chanvre, coton et lin qui a été développé par la coopérative CAVAC. Les produits d'isolation Biofib'Trio sont disponibles en panneaux d'épaisseurs allant de 45 à 200 mm, ainsi qu'en rouleaux de 100 mm. Ce produit participe au confort d'été en augmentant le déphasage. Il n'émet pas de COV et permet de s'adapter à tous les montants.

OUATE ET CHANVRE

Des produits isolants en laine de chanvre et en ouate de cellulose existent sous forme de panneaux et de rouleaux (uniquement pour le chanvre). Actuellement ils ne disposent pas de certifications (ATEC ou ACERMI), mais cela peut être amené à évoluer dans l'avenir. Au niveau des fournisseurs, on peut noter les produits proposés par la CAVAC (Biofib'chanvre et Biofib'ouate) ainsi que par Soprema (Univercell).

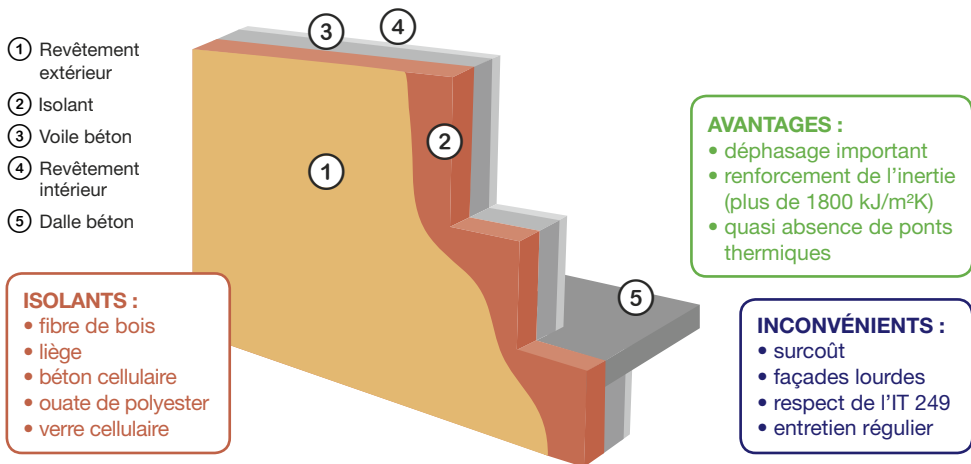
PLAQUE DE PLÂTRE

Dans une paroi isolée par l'intérieur, le doublage en plâtre est un constituant important (correction acoustique, protection incendie, humidité...). Il est possible de choisir des plaques de plâtre issues de filières locales. Le fabricant Siniat, implanté dans le Vaucluse, est par ailleurs engagé dans une démarche de certification « cradle to cradle » visant à réduire au maximum son impact environnemental. Une autre solution est d'utiliser les plaques du fabricant Fermacell composée à 20% de ouate de cellulose.

DEUXIÈME SOLUTION

STRUCTURE ET FAÇADES BÉTON BAS CARBONE AVEC ISOLATION THERMIQUE EXTÉRIEURE

Cette solution permet de conserver les avantages d'une structure béton. Elle permet en outre de supprimer les ponts thermiques en façade. Le choix de l'ITE couplé à une inertie lourde peut s'avérer très pertinent en climat méditerranéen, à condition de l'associer à une surventilation nocturne efficace.



QUELQUES CHIFFRES *

Déphasage : de 15h à 20h
Émission de GES (kg_{eq} CO₂) : 86 à 117
Énergie (MJ) : 1175 à 1914
Épaisseur (cm) : 38
Poids (kg) : 540 à 550

*Les modélisations sont réalisées sous Cocon pour 1m² de paroi avec les isolants suivants : fibre de bois, liège, béton cellulaire, verre cellulaire.

ZOOM SUR LES MATÉRIAUX

BÉTON BAS CARBONE

Les industriels du béton proposent aujourd'hui des formulations de béton plus respectueuses de l'environnement. L'impact carbone du béton venant essentiellement du ciment et de son constituant principal le clinker, les industriels proposent des solutions composées de substituts de ciment (laitiers, cendres volantes...). Deux procédés industriels différents existent : la recomposition en cimenterie, procédé utilisé par Lafarge et Bronzo Perasso ou bien la recomposition en centrale à béton (Cemex). En **annexe 4** (p.34), les émissions associées à un béton bas carbone sur Euroméditerranée.

LIÈGE

Le liège est disponible sous forme de panneaux pour l'isolation thermique par l'extérieur. L'entreprise Weber, du groupe Saint-Gobain est le seul fournisseur français à disposer d'un document technique d'application. Le liège a pour avantage d'être imputrescible, simple à mettre en œuvre, résistant au feu et dispose d'un bon déphasage thermique. La ressource liège étant réduite, cet isolant est à privilégier pour des usages spécifiques (contraintes incendie et humidité). Son prix est globalement plus élevé que les autres isolants biosourcés.

L'EXEMPLE

LE FOLIO, LOGEMENTS COLLECTIFS SOCIAUX



FICHE D'IDENTITÉ

MOA : Côte d'Azur Habitat
Architecte : Billy & Goffard
BE technique : Mona ingenierie partners
Entreprise générale : SPADA construction
Année : livraison prévue en 2019
Ville : Nice (06)
Coût total HT : 4 488 000 €
Coût m² HT : 1 488 €
Surface : 2 776 m²
Nombre niveaux : R+6
Revêtement : enduit, tôle pliée nervurée perforée laquée, fibrociment, zinc pré patiné

PRÉSENTATION DU PROJET :

Dans le cadre du projet de rénovation urbaine du quartier des Moulins à Nice, des démolitions de logements ont été réalisées. Afin de reconstituer l'offre de logements sociaux dans la commune, Côte d'Azur Habitat a porté ce projet de 34 logements, pour contribuer à la mixité sociale du quartier. Le bâtiment est engagé dans la démarche BDM. Plusieurs enjeux sont visés avec notamment un niveau de consommation énergétique inférieure de 10% à la RT 2012 et l'absence de climatisation en site urbain dense. Concernant les matériaux, une isolation thermique par l'extérieur en fibre de bois a été prescrite pour la façade sur rue. On peut également noter l'utilisation de fibre de coton recyclé pour l'isolation du rampant et le recours au béton bas carbone pour le radier (350 m³).

LE POINT DE VUE DU MAÎTRE D'OUVRAGE

(CHANTAL CARRIÉ - CÔTE D'AZUR HABITAT)

« Ce projet a fait l'objet d'un concours selon une procédure de conception réalisation. Le cahier des charges stipulait des exigences environnementales et le projet devait s'inscrire dans une démarche durable et pragmatique respectant les coûts de maintenance. Aucun type d'isolation n'a été exigé, laissant le soin au groupement de nous faire des propositions respectant ces exigences. Le projet du groupement Billy & Goffard et Spada Construction a retenu toute l'attention du jury pour sa qualité architecturale mais aussi pour l'organisation des logements. Ces derniers sont tous traversant grâce à un procédé original traitant le confort d'été, à partir de loggias fermées et ventilées grâce à des prises d'air équipées de pièges à son et de puits de jour intérieur. Elles permettent de jouer le rôle d'une cheminée thermique dédiée à une ventilation naturelle pour un rafraîchissement des logements. La proposition de l'ITE en fibre de bois vient compléter et renforcer ce concept. La notion de confort d'été est une exigence forte dans tous nos projets afin d'éviter l'installation d'appareils de climatisation par nos locataires, ce qui peut dégrader les façades isolées et ainsi augmenter les consommations d'énergie. »

BÉTON CELLULAIRE

Le béton cellulaire est un mélange de sable, de ciment, de chaux et de poudre d'aluminium. La particularité de ce béton est qu'il est gorgé d'air le rendant léger et isolant. Ytong, propose des panneaux de 60 à 200 mm. Le béton cellulaire a pour avantages d'être facile à poser, léger, résistant au feu et pérenne : il ne se tasse pas et ne déforme pas avec le temps. Cependant, il est sensible aux impacts.

VERRE CELLULAIRE

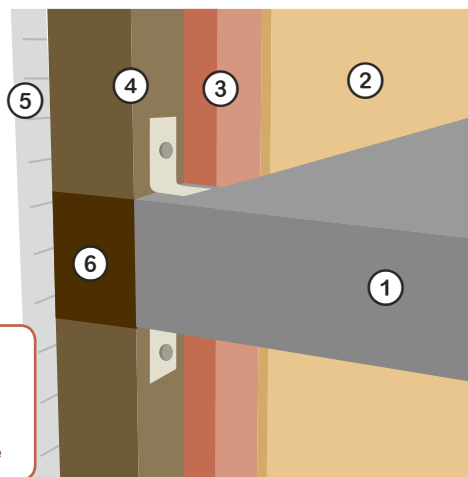
Les panneaux de verre cellulaire sont fabriqués à partir de verre recyclé et de différentes matières minérales (sable, dolomite, chaux). Ils disposent d'une conductivité thermique faible et sont incombustibles. Proposés par les fabricants Foamglass et STDB, ils sont disponibles en épaisseurs de 40 à 200 mm. Bien que léger ce matériau a une masse volumique supérieure (115 kg/m³) aux isolants fibreux.

TROISIÈME SOLUTION

STRUCTURE BÉTON BAS CARBONE ET FAÇADES EN OSSATURE BOIS

Cette solution constructive se présente sous la forme d'éléments préfabriqués, rapportés sur la structure primaire, pour constituer les murs externes. Ils peuvent être posés de deux façons : en continu devant les nez de dalles (schéma ci-dessous) ou de nez de dalle à nez de dalle. Cette solution constructive permet de répondre aux contraintes d'identité architecturale car elle peut être associée à un grand nombre de vêtements, avec pour effet de conserver les habitudes majoritaires tout en intégrant une part importante de bois.

- ① Dalle béton
- ② Revêtement intérieur
- ③ Isolant
- ④ Élément à ossature bois
- ⑤ Revêtement extérieur
- ⑥ Lisse bois massif



AVANTAGES :

- grand choix de vêtements
- rapidité et simplicité de fabrication et de montage
- légèreté du mur
- quasi absence de ponts thermiques
- épaisseur de mur faible grâce à l'isolation intégrée
- performances thermo-acoustiques élevées

INCONVÉNIENTS :

- coût des façades légèrement plus élevé
- freins de certains bureaux de contrôle
- produits encore peu connus des professionnels
- disponibilité des produits
- déphasage moyen

ISOLANTS :

- fibre de bois
- laine de bois
- laines minérales
- ouate de cellulose

QUELQUES CHIFFRES *

Déphasage: de 6h à 8h30

Émission de GES (kg_{eq} CO₂) : 24 à 47

Énergie (MJ) : 733 à 936

Épaisseur (cm) : 22 à 26

Poids (kg) : 56 à 230

*Les modélisations sont réalisées sous Cocon pour 1m² de paroi avec les isolants suivants : laine de bois, ouate de cellulose, laines minérales.

ZOOM SUR LES MATÉRIAUX

FIBRE DE BOIS

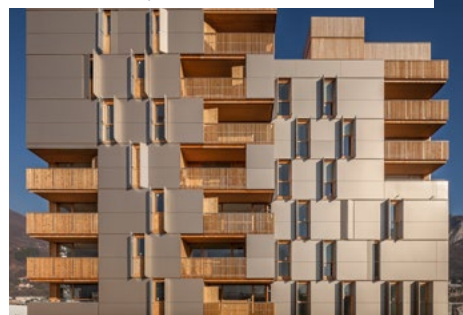
La fibre de bois se présente sous forme de panneaux rigides ou semi-rigides. La différence entre la fibre et la laine de bois se situe notamment au niveau de la masse volumique (≥ 110kg/m³ pour la fibre de bois). La fibre de bois a pour avantage d'être un bon isolant phonique, de bien résister au vieillissement, et d'avoir un excellent déphasage thermique. Cependant les unités de fabrication sont très décentralisées.

LAINES DE BOIS

La laine de bois est produite à partir du défilage du bois et peut se présenter sous la forme de panneaux ou de rouleaux (masse volumique de 50 à 60 kg/m³). Il y a plusieurs fabricants présents en France : Isonat, Pavatex et Steico. La laine de bois a pour avantage de se mettre en œuvre de la même façon que les laines minérales et c'est un bon isolant phonique. Cependant, elle doit être traitée afin de ne pas être attaquée et est sensible à l'humidité.

L'EXEMPLE

LE SOLARIS, LOGEMENTS COLLECTIFS SOCIAUX



FICHE D'IDENTITÉ

MOA : ACTIS

Architecte : Roda architecte

BE bois : Gaujard Technologies

Entreprise bois : S.D.C.C

Année : 2017

Ville : Grenoble (38)

Coût total HT : 3 885 000 €

Coût m² HT : 1 195 €

Surface : 3 250 m²

Nombre niveaux : R+10

Revêtement : bardage aluminium / bois

PRÉSENTATION DU PROJET :

Le Solaris est une opération de 38 logements locatifs sociaux réalisés par ACTIS à Grenoble, au cœur de l'ÉcoCité presqu'île. Ce quartier en pleine mutation rassemblera à terme commerces, universités, recherche, mobilité douce et logements. L'îlot Cambridge, où se trouve le Solaris, accueillera 500 logements, dont 40 % de logements sociaux.

Le bâtiment a été conçu afin de permettre sobriété des consommations et confort des habitants. Il est très peu consommateur d'énergie et la production de chaleur est assurée grâce à un système de géothermie. Les toitures sont en partie végétalisées et les modes de transports alternatifs sont favorisés. Ce projet s'inscrit dans une dynamique forte de développement de l'usage du bois, avec un volume total de 375 m³ de bois, dont 130 m³ de laine de bois.

LE POINT DE VUE DE L'ARCHITECTE

(JEAN PAUL RODA, RODA ARCHITECTE)

«Le choix de la mixité bois béton pour ce projet est, d'une part, un parti pris d'architecte lié au fort potentiel créatif de ce système constructif, et, d'autre part, un choix technique permettant de répondre aux objectifs de performance environnementale au niveau de l'usage du bois. Le cahier des charges de la ZAC imposait 50 dm³ de bois par m² SHON ainsi que l'objectif « RT 2012 - 30 % » sur la performance énergétique. Cette solution constructive a pour avantage notable l'adaptabilité du mur bois à recevoir un large choix de vêtiture à un prix inférieur à son équivalent béton pour une performance thermique égale. Cette compétitivité économique s'explique notamment par la préfabrication en atelier du mur avec sa menuiserie intégrée, son isolation répartie, sa vêtiture et ses finitions et va permettre une architecture plus audacieuse. La préfabrication, en plus de son avantage économique, va permettre de réaliser des éléments de grande qualité et pérennes.

Selon moi, la solution mixte bois béton a encore un grand potentiel d'évolutivité et peut constituer une réponse aux enjeux de demain.»

PANOBLIC

Panobloc CLTi (Cross Laminated Timber with Insulation) est un panneau lamellé croisé avec isolant développé par l'entreprise Techniwood. Il dispose d'un avis technique, mais celui-ci ne porte que sur une isolation en laine minérale. Les panneaux CLTi permettent de diminuer les nuisances sonores et les poussières pendant la construction ainsi qu'une mise en œuvre rapide.

LAINES DE VERRE

La laine de verre est le produit phare en matière d'isolation. Elle dispose, par conséquent, de nombreuses certifications et solutions disponibles. Commercialisée sous forme de rouleaux et de panneaux, elle bénéficie d'une faible conductivité thermique mais son déphasage est moyen. Le fabricant Knauf propose la gamme Ecose, qui intègre un liant d'origine végétal.

QUATRIÈME SOLUTION

STRUCTURE BOIS PORTEUSE CLT ET FAÇADES BOIS

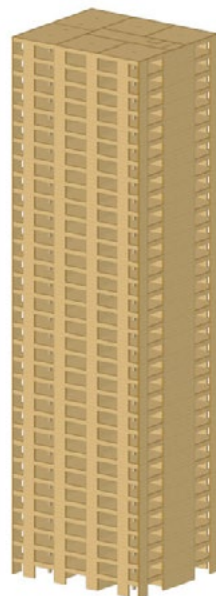
Cette solution repose sur la mise en place de panneaux de bois massif CLT (Cross Laminated Timber) qui vont constituer la structure porteuse ainsi que le contreventement de l'ouvrage. Ce système constructif permet de réaliser des constructions allant jusqu'à une trentaine d'étages.

AVANTAGES :

- préfabrication
- gestion des déchets et nuisances réduites
- rapidité d'exécution
- légèreté
- construction économique
- performances mécaniques supérieures au bois massif traditionnel
- déphasage bon à très bon

INCONVÉNIENTS :

- coût supérieur
- peu d'avis techniques en 4^e famille
- disponibilité des produits français encore limitée
- peu de flexibilité pour l'aménagement des étages



ISOLANTS :

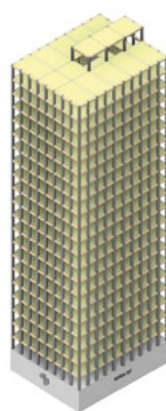
- laine de roche
- fibre de bois

QUELQUES CHIFFRES *

Déphasage: 11h à 17h30
Émission de GES (kg_{eq} CO₂) : -14 à 30
Énergie (MJ) : 918
Épaisseur (cm) : 25 à 28
Poids (kg) : 80 à 100

* La modélisation est réalisée sous Cocon pour 1m² de paroi avec les isolants suivants : laine de roche, fibre de bois.

ALTERNATIVES AU CLT



POTEAUX/POUTRES

Ce système constructif est constitué d'un réseau de poteaux et de poutres en bois qui vont reprendre les efforts horizontaux et verticaux.

AVANTAGES

Longues portées, gestion facilitée des contraintes feu et sismique (lamellé-collé) préfabrication rapide, tous types de parements possibles,

adapté en terrains difficiles.

INCONVÉNIENTS

Faible raideur.



EXOSQUELETTE

L'exosquelette est un système alliant poteaux-poutres et un ensemble de diagonales au niveau de la façade. Cette combinaison permet de reprendre les efforts horizontaux et verticaux.

AVANTAGES

Raccordement sans ponts thermiques, permet de gérer l'entrée d'eau, aménagement de l'immeuble flexible.

INCONVÉNIENTS

Bois soumis aux intempéries et au rayonnement UV, mise en place de diagonales qui ont un impact sur les choix architecturaux.

L'EXEMPLE

LA CITÉ ÉTUDIANTE LUCIEN CORNIL



FICHE D'IDENTITÉ

MOA : Crous Aix-Marseille
Architecte : A+ Architecture
BE technique : TPFI, Celsius Environnement
Entreprise bois : Arbonis
Année : 2017
Ville : Marseille (13)
Coût total HT : 8 715 000 €
Coût m² HT : 2 002 €
Surface : 4 352 m²
Nombre niveaux : R+7
Revêtement : tôle ondulée perforée et barreaux métalliques aluminium

PRÉSENTATION DU PROJET :

La cité étudiante Lucien Cornil constitue, actuellement, un des plus hauts bâtiments en bois de France. Cette résidence étudiante en R+7, est le résultat d'une démarche environnementale et constructive qui a mis 4 ans à aboutir. Ce bâtiment prend place sur une parcelle urbaine laissée libre, suite à la démolition d'un restaurant universitaire désaffecté depuis 20 ans. Composé en trois ailes, le dessin propose une grande hauteur en rez-de-chaussée, des attiques sur les deux derniers niveaux ainsi que des espaces partagés. La majorité des 200 logements étudiants est orientée sur le cœur d'îlot. Les façades à ossature bois sont portées par une structure en lamellé-collé et lamellé-croisé. Seules les fondations, deux cages d'escalier et deux gaines d'ascenseurs sont en béton.

LE POINT DE VUE DE L'ARCHITECTE

(PHILIPPE CERVANTÈS - A+ ARCHITECTURE)

« Dans ce contexte urbain contraint, le choix de la construction bois (hors noyaux verticaux) est apparu comme une évidence. Réduction des nuisances de chantier, optimisation du planning mais aussi engagement sur le confort thermique et acoustique de la résidence sont les atouts qui ont su convaincre le CROUS de se lancer dans l'aventure. Nous estimons que la solution bois a eu l'avantage de faire gagner du temps par rapport au béton, entre 15 et 20%. Par exemple, les panneaux en lamellé-croisé ont été livrés à la verticale et non empilés, pour être posés le plus rapidement possible. Par ailleurs, les façades en ossature bois ont été entièrement préfabriquées dans les usines de l'industriel Arbonis (Groupe VINCI), cotraitant de l'entreprise générale Travaux du Midi. Malgré un surcoût d'environ 6%, cette solution a eu aussi l'avantage de limiter l'impact du chantier réalisé dans un environnement urbain dense. Aucun matériel lourd n'a été requis, hormis une grue à tour. Le bois est présent sur tous les plafonds et sur une des parois des chambres, l'autre étant isolée acoustiquement. Il est présent également dans les couloirs et les salles communes sans pour autant se percevoir sur les façades où son vieillissement est jugé trop impactant. »

FOURNISSEURS DE CLT

| Fournisseurs | Produits | Certifications techniques | FDES |
|---------------|----------------|------------------------------------------------------------------------|------|
| Lignatec | KLH | ETA 06/0138 / PEFC/06-34-110 / DTA n°3.3/12-731_V2 | Oui |
| Piveteau Bois | Hexapli | ATEC 3.3/18-958_V1 (valide uniquement jusqu'en 3 ^e famille) | Non |
| Techniwood | Panobloc | ATEC 3/16-860 (valide uniquement jusqu'en 2 ^e famille) | Non |
| Egoïn | Ego_CLT | DTA 3.3/18-961_V1 (valide uniquement jusqu'en 3 ^e famille) | Non |
| Stora enso | Stora enso CLT | DTA V3.3/15-798_V2 | Non |
| Mathis | Dalbois CLT M | ATEC 3.3/17-943_V1 | Non |



3

LE DÉVELOPPEMENT DES MATÉRIAUX ISSUS DE FILIÈRES LOCALES

LE DÉVELOPPEMENT DES MATÉRIAUX ISSUS DE FILIÈRES LOCALES

Sous l'impulsion de la Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse, issue de la Loi de Transition Énergétique et de la Croissance Verte (LTECV), l'usage de matériaux biosourcés et en particulier des matériaux issus de filières locales est en fort développement dans de nombreuses régions en France. En PACA, la Région SUD et la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL PACA) pilotent l'établissement d'un schéma régional biomasse (SRB).

Ce schéma, au-delà d'une valorisation purement énergétique des ressources, établit un état des lieux des filières, en vue d'une valorisation dans le domaine de la construction. Même si certaines filières sont encore peu structurées, d'autres filières sont très prometteuses. Nous retiendrons principalement :

- **Le bois** (appuyé par le label Bois des Alpes)
- **Les coproduits de la filière rizicole** (paille de riz et balle de riz)
- **La paille de blé**

D'autres matériaux sont produits en région PACA, mais leur potentiel reste plus faible, telle que la balle de petit épeautre (110t/an) ou le liège en vrac (300t/an). Leur principale destination reste pour le moment la maison individuelle. D'autres matériaux telle que la laine de mouton, la paille de lavande ou la chènevotte ont un potentiel très restreint.

En dehors des matériaux biosourcés, il est à noter que la filière des matériaux géosourcés est bien structurée en région. La pierre massive peut permettre de répondre à des enjeux d'inertie, de durabilité et d'impact environnemental. Elle peut être utilisée comme parement avec une structure béton sans contraintes de domaine d'emploi ou bien en structure pour des bâtiments de 1^{re} et 2^e famille. La terre crue, utilisée en briques de cloisonnement, pourrait également connaître un développement significatif.

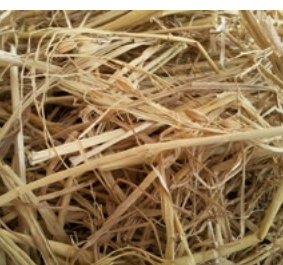
En conclusion, les filières régionales sont insuffisamment structurées, à ce jour, pour répondre aux besoins des bâtiments de moyenne et grande hauteur. Aussi, il est actuellement nécessaire d'avoir recours à des matériaux biosourcés produits dans d'autres régions.

La puissance publique est là pour initier la réflexion et accompagner le développement des filières à moyen terme.

ESTIMATION DES QUANTITÉS DE MATÉRIAUX BIOSOURCÉS DISPONIBLES EN RÉGION SUD PACA (Schéma Régional Biomasse – version projet – juin 2018)

| Bioressources de PACA | Quantité totale produite |
|----------------------------|--------------------------|
| Bois qualité bois d'œuvre | 1,1 Mm ³ |
| Paille de céréales | 130 000 t brutes |
| Paille de riz | 50 400 t brutes |
| Balle de riz | 11 400 t brutes |
| Balle de petit épeautre | 110 t brutes |
| Paille de plantes à parfum | 72 500 t brutes |
| Laine d'ovine | 975 t brutes |
| Chanvre | 120 t brutes |
| Canne de Provence | Non estimé |

Les chiffres indiquent les quantités produites et disponibles, mais celles-ci ne sont pas intégralement valorisées actuellement. Le potentiel de développement est donc important pour un usage dans le bâtiment.



Paille riz (Bâtir en balles)



Balle de riz (Bâtir en balles)



Liège (Lièges Mélior)



Pierre (Pierres du Sud)



Paille de blé (Luc Floissac)



Chènevotte (DB chanvre)



Bois (Bois des Alpes)



Brique (Briques Technic Concept)



4

MATÉRIAUX : R&D ET SOLUTIONS D'AVENIR

MATÉRIAUX : R&D ET SOLUTIONS D'AVENIR

Cette publication a vocation à présenter des solutions matures, permettant de répondre au mieux aux différentes contraintes et enjeux de l'urbain dense. Toutefois, d'autres matériaux et produits font l'objet de travaux de recherche & développement. Ils sont dignes d'intérêt et trouveront certainement leur place en logements collectifs dans les années à venir.



FBT Isolation

LES PANNEAUX EN PAILLE DE RIZ

Installé en Rhône-Alpes, l'industriel FBT ISOLATION développe une gamme de panneaux isolants semi-rigides avec de la paille de riz de Camargue. Cet isolant sera disponible sur des épaisseurs allant de 45 à 200 mm. La conductivité thermique annoncée de 0,04 W/m.K. L'industriel met en avant le faible impact environnemental, le confort thermo-acoustique et la durabilité.



CAN-ia architectes, LB Éco Habitat, Tradical®

LES PANNEAUX DE BÉTON DE CHANVRE PRÉFABRIQUÉ

Le béton de chanvre connaît un nouveau développement avec la préfabrication. En Vendée, un premier bâtiment tertiaire de 1000m² de 2 niveaux a été réalisé avec une façade en panneaux de chanvre préfabriqué (ossature bois, enduit de chanvre intérieur, béton de chanvre, fibre de bois, enduit extérieur). En Seine-et-Marne, un nouveau collège HQE de 800 élèves d'une surface de 7750m² verra bientôt le jour. Construit par Vinci, il intégrera une technique différente. Les façades des bâtiments administratifs et de restauration seront constituées d'une structure bois remplie en blocs de chanvre avec un enduit à base de chaux.



Hoffmann Green Cement Technologies

BÉTON AVEC CIMENT À BASE D'ARGILE

Le ciment Portland étant fortement émetteur de gaz à effet de serre, l'entreprise vendéenne Argiwest a cherché à lui substituer un ciment à base d'argile, le liant HP2A. Ce nouveau matériau de construction dispose de bonnes qualités mécaniques et présente une empreinte carbone allégée. Pour produire une tonne de liant HP2A, qui sert à fabriquer du béton, des colles ou du mortier, le fabricant annonce un dégagement de 150 à 200 kg de CO₂ contre une tonne chez d'autres fabricants.



Sika

LIANT BIOSOURCÉ

En avril 2018, l'entreprise Sika a commercialisé le premier adjuvant biosourcé Sika ViscoCrete 850-Végétal, destiné aux bétons prêts à l'emploi (BPE) comme aux sites de préfabrication pour la réalisation de bétons de consistance S4 à autoplaçant. Présentant un taux de carbone biosourcé de plus de 90 %, il permet une réduction de 80 kg de CO₂ par tonne d'adjuvant.



Lignatec

D'AUTRES MATÉRIAUX ?

La liste des autres matériaux prometteurs pour l'urbain dense est longue et pourrait être complétée : planchers mixte bois-béton (systèmes D - Dalle de CBS-CBT/LIFTEAM ou Lignadal de LignaTech), dalles en bois, dalles béton cellulaire (Ytong), blocs de béton de chanvre BIOSYS...

ANNEXE 1

TABLEAUX PRODUITS

Ce tableau a été réalisé à partir de la base de données du CSTB, d'INIES, d'ACERMI ainsi que de données commerciales de différents fournisseurs. Ce tableau est non exhaustif, et présente les données disponibles à ce jour.

| Catégorie de matériaux | Matériau | Forme | Fournisseur | Nom produit | Type d'application | Réaction au feu | Certification technique | Conductivité thermique (W/mK) | FDES |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------|
| BIOSOURCÉ | Laine de bois | Panneau | Isonat | Flex 55 Plus H | ITI | NC | ACERMI 15/217/984/4 ATEC 19-431_V1 | 0,036 | Oui |
| | | Panneau | Isonat | Flex 40 | ITI | euroclasse F | ACERMI 11/217/718/8 | 0,038 | Oui |
| | | Panneau | Pavatex | Pavaflex confort | ITI | euroclasse E | ACERMI 17/006/1259/3 | 0,038 | Non |
| | | Panneau | Steico | Steico'flex 038 | ITI | euroclasse E | ACERMI 11/134/733/9 | 0,038 | Non |
| | Coton recyclé | Panneau | Metisse | Metisse RT | ITI | euroclasse E | ACERMI 14/179/918 ATEC 20/16-392 | 0,039 | Oui |
| | | Rouleau | Metisse | Metisse RT | ITI | euroclasse E | ACERMI 14/179/918 ATEC 20/16-392 | 0,039 | Oui |
| | Ouate de cellulose | Panneau | Soprema | Univercell | ITI | euroclasse F | | 0,039 | Non |
| | Herbe | Panneau | Gramitherm | Gramitherm | ITI | euroclasse E | ETA-06/0274 | 0,04 | Non |
| | Ouate de cellulose | Panneau | CAVAC biomatériaux | Biofib'ouate | ITI | euroclasse F | | 0,04 | Non |
| | Laine de chanvre | Panneau | CAVAC biomatériaux | Biofib'chanvre | ITI | euroclasse F | | 0,04 | Non |
| | | Rouleau | CAVAC biomatériaux | Biofib'chanvre | ITI | euroclasse F | | 0,04 | Non |
| | Mixte lin, chanvre et coton | Panneau | CAVAC biomatériaux | Biofib'trio | ITI/ITE | euroclasse F | ACERMI 14/130/962/4 ITI : ATEC 20/14-329_V1 | 0,039 | Oui |
| | | Rouleau | CAVAC biomatériaux | Biofib'trio | ITI/ITE | euroclasse F | ACERMI 11/130/962 ITI : ATEC 20/14-329 | 0,039 | Oui |
| | Fibre de bois | Panneau | Soprema-Zolpan | Armaterm poudre WF | ITE | euroclasse B-s1,do | DTA 7/17-1686_V1* | 0,039 | Oui |
| Liège | Panneau | Saint Gobain Weber | Webertherm XM natura calé-chevillé | ITE | euroclasse B-s1,do | ACERMI 17/128/1266/3 DTA 7/17-1708_V1* | 0,04 | Oui | |
| | Panneau | Saint Gobain Weber | Webertherm XM natura collé | ITE | euroclasse B-s1,do | ACERMI 17/128/1266/3 DTA 7/17-1708_V1* | 0,04 | Oui | |
| ÉCO-MATERIAU | Laine de verre avec liant végétal | Panneau | Knauf | TP 238 | ITI | euroclasse F | ACERMI 02/016/156/18 | 0,032 | Oui |
| | | Panneau | Knauf | TP 138 | ITI | euroclasse A1 | ACERMI 02/016/154/14 | 0,032 | Oui |
| | | Panneau | Knauf | Acoustiplus 032 | ITI | euroclasse F | ACERMI 02/016/156/18 | 0,032 | Oui |
| | | Panneau | Knauf | Acoustilaine 035 | ITI | euroclasse F | ACERMI 02/016/150:16 | 0,035 | Oui |
| | | Rouleau | Isover | PAR Phonic | Cloisons | euroclasse A1 | ACERMI 15/018/1084 | 0,040 | Oui |
| | | Panneau | Knauf | TP 216 | ITI | euroclasse F | ACERMI 02/016/138 | 0,037 | Oui |
| | Verre cellulaire | Plaque | Foamglas | Foamglas T3+ | ITI/ITE | euroclasse A1 | ACERMI 16/023/1179/3 | 0,036 | Oui |
| | | Plaque | Foamglas | Foamglas T4+ | ITI/ITE | euroclasse A1 | ACERMI 10/023/623/5 | 0,041 | Oui |
| | Ouate de polyester | Panneau | PEG | Ecopeg 35 | ITI/ITE | euroclasse B-s1,d0 | ACERMI 16/188/1069/1 ATEC 20/15-365*V1 | 0,035 | Non |
| | Verre cellulaire | Panneau | STDB | STDB.therm | ITI/ITE | euroclasse A1 | ATE N°05/0179 | 0,038 | Non |
| | Ouate de polyester | Panneau | PEG | Ecopeg 39+ | ITI/ITE | euroclasse B-s1,d0 | ACERMI 14/188/993/1 ATEC 20/14-332_V1 | 0,039 | Non |
| | | Rouleau | PEG | Ecopeg 39+ | ITI/ITE | euroclasse B-s1,d0 | ACERMI 14/188/993/1 ATEC 20/14-332_V1 | 0,039 | Non |
| | | Panneau | PEG | Tisoleco | ITI/ITE | euroclasse B-s2,d0 | ATE N°ETA-13/0122 | 0,0421 | Non |
| | | Rouleau | PEG | Tisoleco | ITI/ITE | euroclasse B-s2,d0 | ATE N°ETA-13/0122 | 0,0421 | Non |
| Béton cellulaire | Panneau | Xella thermopierre | Multipor | ITE | euroclasse A1 | ACERMI 14/191/999/2 | 0,045 | Non | |

* Le domaine d'emploi du DTA porte sur des systèmes ne dépassant pas 28 m au dessus du sol dans le cas général et 18 m en front de mer. En gras les produits possédant une FDES.

ANNEXE 2

POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET ISOLANTS

Les graphiques ci-dessous sont présentés à titre informatif afin d'apporter des premiers éléments de comparaison du potentiel de réchauffement climatique de différents isolants. Ces graphiques ont été réalisés à partir de ratios de données FDES. Cependant la base de données étant en constante évolution, il est possible que les informations présentées ne soient pas les plus à jour sur INIES.

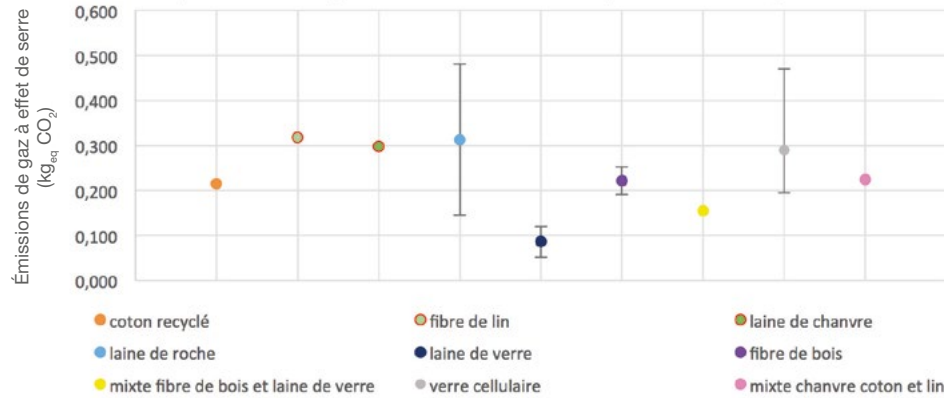
Ces graphiques ont pour limite, comme évoqué précédemment de ne pas prendre en compte le stockage temporaire de carbone des matériaux biosourcés.

Notes : Les cercles rouges indiquent que les données utilisées pour le graphique sont des données par défaut (MDEGD) qui sont majorées d'environ 30%.

ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR (ITI)

En moyenne, en ITI, pour les isolants présentés ici, les épaisseurs associées à une résistance thermique de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ vont de 17 à 21 cm.

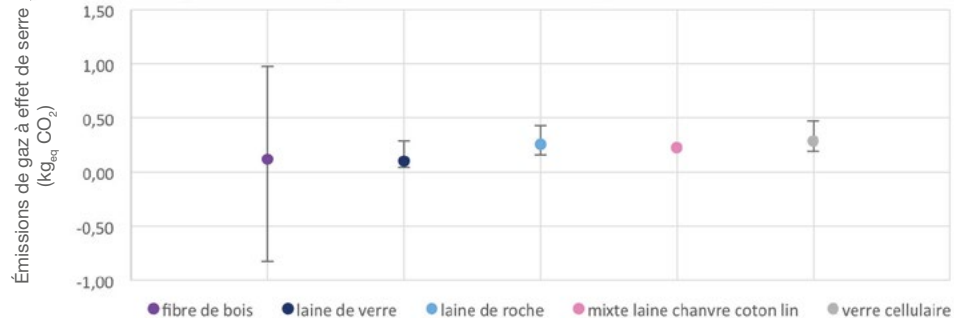
Comparaison du potentiel de réchauffement climatique pour l'isolation par l'intérieur de 1 m^2 de façade à $R = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sur un an



ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR (ITE)

En moyenne, en ITE, pour les isolants présentés ici, les épaisseurs associées à une résistance thermique de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ vont de 17 à 22 cm.

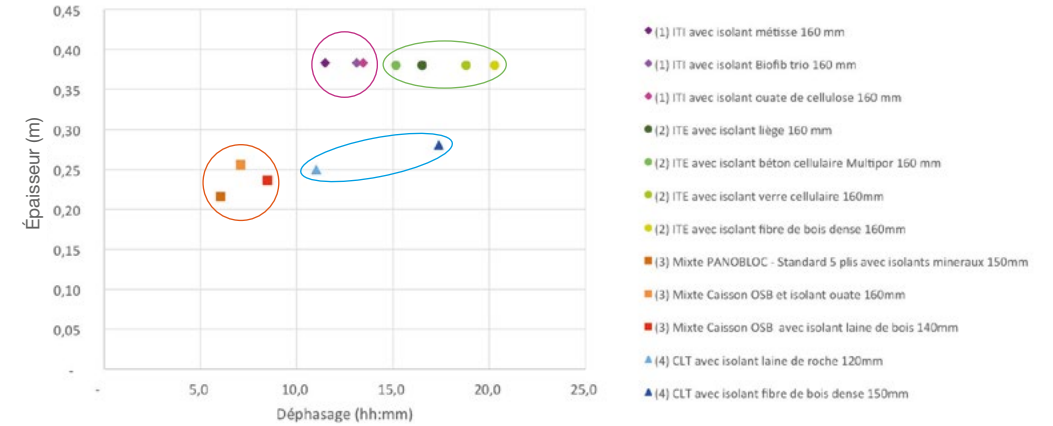
Comparaison du potentiel de réchauffement climatique pour l'isolation par l'extérieur de 1 m^2 de façade à $R = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sur un an



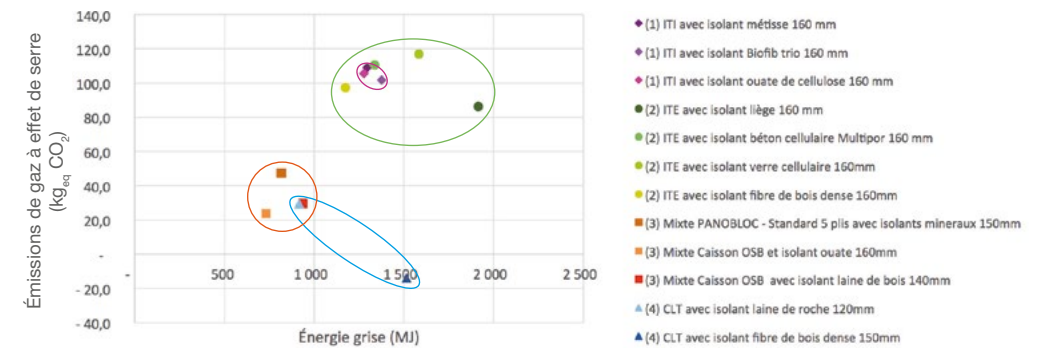
ANNEXE 3

COMPARATIF DES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES À RÉSISTANCE THERMIQUE ÉQUIVALENTE $R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

DÉPHASAGE EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR POUR DIFFÉRENTES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES



ÉNERGIE GRISE EN FONCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE POUR DIFFÉRENTES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES



Notes :

- Pour les solutions en ITI (1) sont modélisés un enduit, le béton banché, l'isolant, le frein vapeur et la plaque de plâtre.
- Pour les solutions en ITE (2) sont modélisés un enduit, l'isolant, le béton banché et l'enduit plâtre.
- Pour les solutions mixtes (3), sont modélisés la façade bois (panobloc ou panneau OSB), l'isolant et la structure.
- Pour les solutions bois porteuses (4) sont modélisés, les panneaux de CLT, l'isolant et l'enduit.

ANNEXE 4

EMPREINTE CARBONE DU BÉTON SUR LE PÉRIMÈTRE D'EUROMÉDITERRANÉE

Sur le périmètre d'Euroméditerranée, ainsi que dans la démarche BDM, un béton est considéré comme « bas carbone » lorsque les émissions de CO₂ sont inférieures de 20% à celle d'un béton standard pour la classe d'exposition et de résistance considérée*.

Il est important de rappeler que le travail de réduction de l'impact carbone doit être fait en priorité sur les planchers et les fondations car ces postes représentent la majorité des volumes de béton mis en œuvre lors de la réalisation d'un ouvrage.

Ci-dessous les seuils associés selon les différentes classes d'exposition et de résistance sur Euroméditerranée.

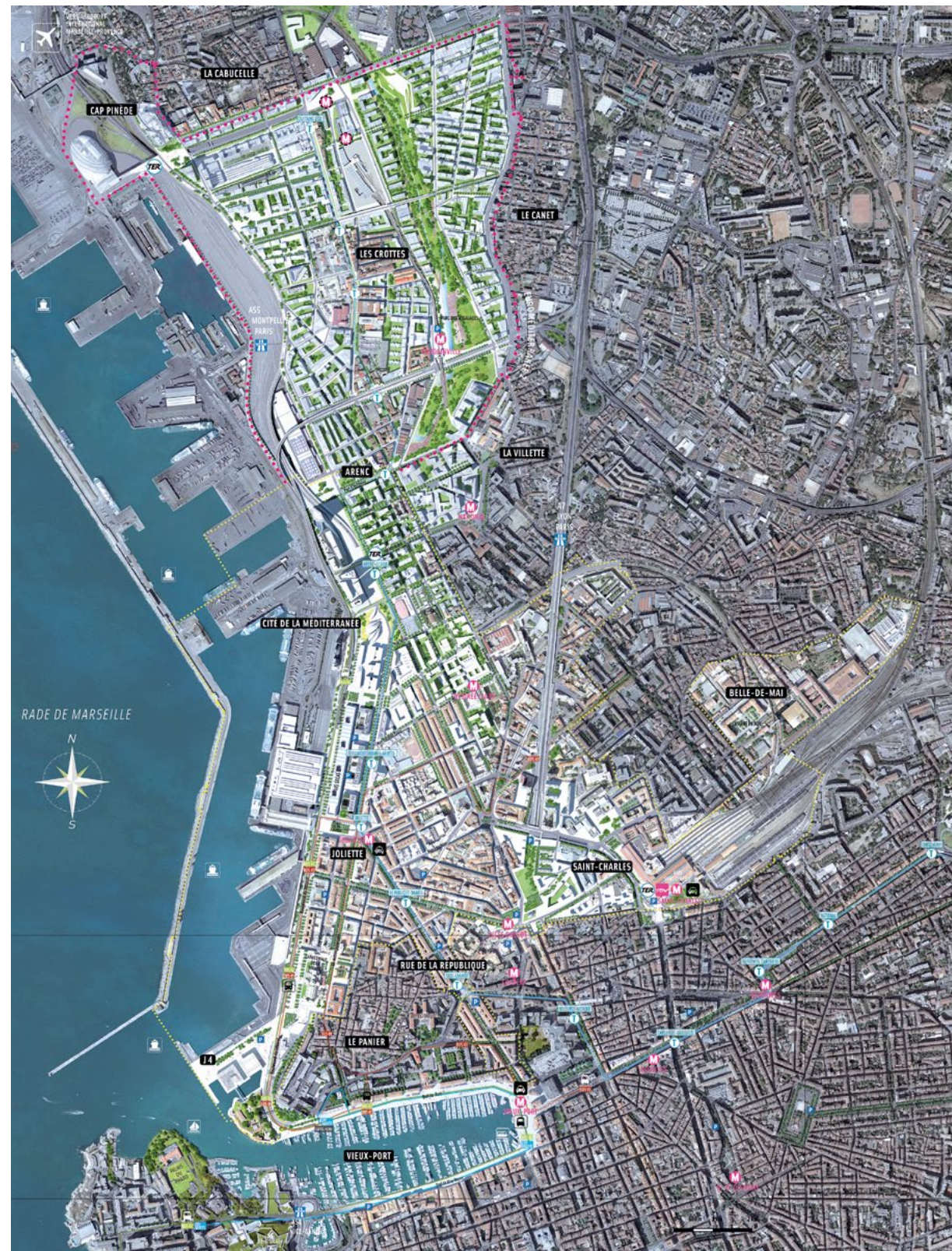
| Classe d'exposition | XC1 | XC1/XC2 | XC4/XF1 | XC1/XC2/ XC4/XF1 | XS1 | XS3 | XA1/XA2/ XA3 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------------------|--------|--------|-----------------|
| Classe de résistance | C20/25 | C25/30 | C25/30 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C40/50 |
| Empreinte carbone de référence (en kg _{eq} CO ₂ /m ³) | 215 | 215 | 230 | 230 | 270 | 285 | 305 |
| Empreinte carbone -20% | 170 | 170 | 185 | 185 | 215 | 230 | 245 |

* Le béton est un matériau sensible à l'action de l'environnement extérieur, les formulations diffèrent donc selon la localisation géographique du bâtiment et la partie d'ouvrage considérée. La classe de résistance quant à elle, est uniquement liée aux charges que doivent supporter la partie d'ouvrage considérée.

Le tableau ci-après résume les applications principales en bâtiment des différentes classes d'expositions mises en œuvre sur Euroméditerranée.

| Classe d'exposition | Application en bâtiment |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| XC1 | Parties de bâtiments à l'abri de la pluie Planchers, dalles, voiles protégés de l'humidité |
| XC2 | Parties de bâtiment au contact de l'eau à long terme Un grand nombre de fondations |
| XC4 | Parties extérieures des bâtiments non protégées de la pluie Voiles extérieurs |
| XF1 | Parties de bâtiment soumises à un gel faible ou modéré, avec pas ou peu de salage Voiles extérieurs |
| XS1/XS3 | Éléments directement exposés à l'air salin ou à l'eau de mer Voiles extérieurs et fondations |
| XA1/XA2/XA3 | Ouvrages exposés aux attaques chimiques des sols ou eaux de surfaces et souterraines Fondations et dallages |

Tableau réalisé à partir du document « bétons et empreinte carbone des bâtiments » rédigé par Cimbéton, ByBéton, les produits en béton et le SNBPE.



CONSTRUCTION DURABLE & MATÉRIAUX



Depuis plus de vingt ans, l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée conçoit, développe et construit la ville méditerranéenne durable de demain au cœur de la métropole Aix-Marseille-Provence sur 480 hectares. Labélisé « EcoCité », ce nouveau périmètre a vocation à être un territoire d'expérimentation de l'aménagement urbain pour tester, déployer et valoriser les services et technologies innovants de la ville durable et intelligente.

Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée - L'Astrolabe, 79 boulevard de Dunkerque - 13002 Marseille
04.91.14.45.00 – contact-ddii@euromediterranee.fr – www.euromediterranee.fr



envirobatbdm

Créé en 2003, EnvirobatBDM est une association régionale de professionnels de l'acte de bâtir. Elle œuvre pour la généralisation de la construction et de l'aménagement durable. En 2008, elle a initié la démarche « Bâtiments Durables Méditerranéens » (BDM) qui vise à accompagner les projets de manière contextualisée, participative et ouverte.

EnvirobatBDM - Résidence le Phocéén, bâtiment C - 32 rue de Crimée - 13003 Marseille
04.95.04.30.44 - contact@envirobatbdm.eu - www.envirobatbdm.eu

