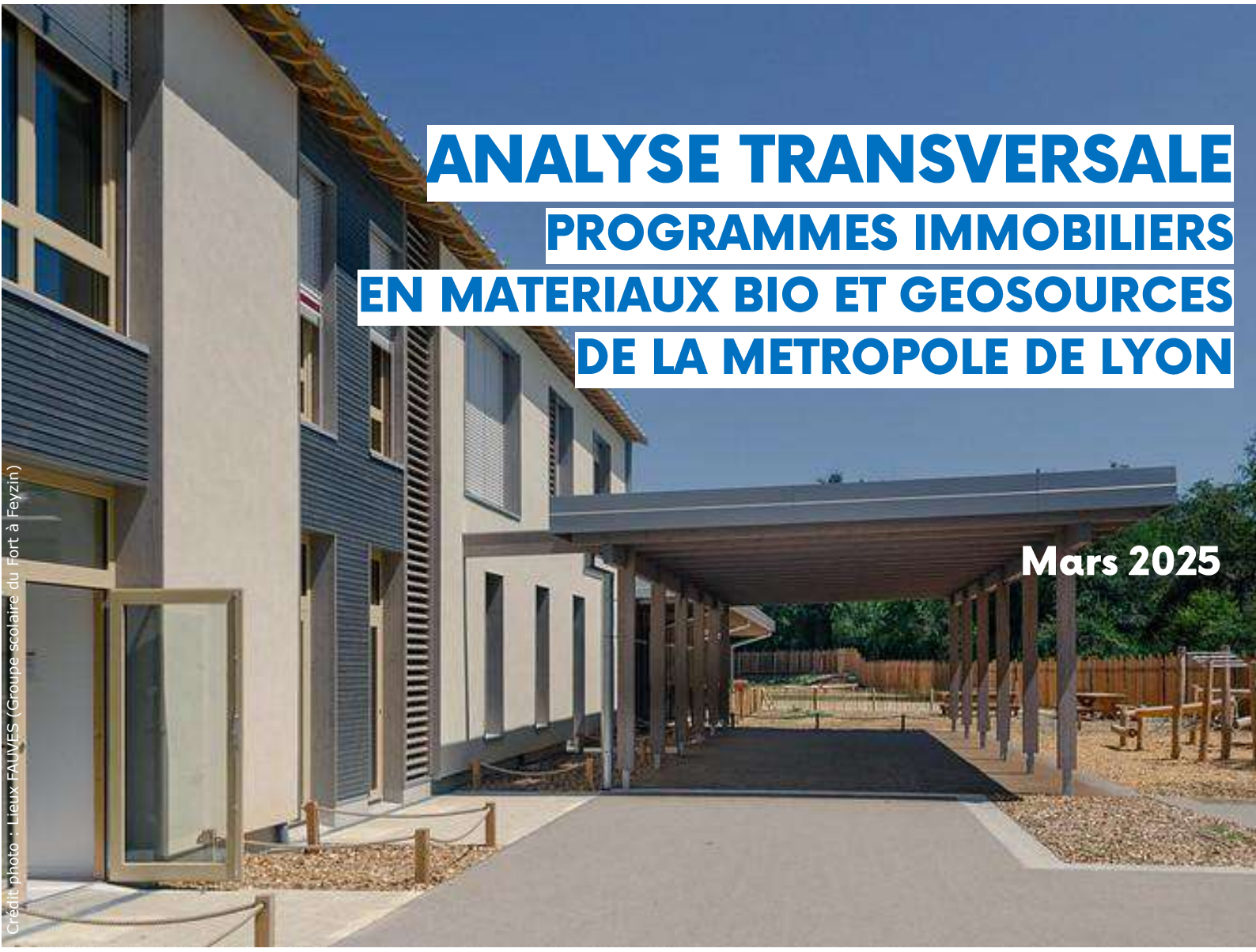
ville & aménagement durable

(R)éveillons nos pratiques

MÉTROPOLE GRAND LYON



ANALYSE TRANSVERSALE

PROGRAMMES IMMOBILIERS EN MATERIAUX BIO ET GEOSOURCES DE LA METROPOLE DE LYON

Mars 2025

Crédit photo : Lieux FAUVES (Groupe scolaire du Fort à Feyzin)

Table des matières

Edito 3
Introduction 4
Fiche d'identité des projets 7
Enseignements transversaux 14
FACTEURS AYANT FACILITE LA MISE EN ŒUVRE DE MATERIAUX BIO ET GEOSOURCES 14
COMMENT RENFORCER L'INTEGRATION DES MATERIAUX BIO ET GEOSOURCES ? 15
Pierre structurelle 30
POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS 30
CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES 32
Ossature bois (mur/façade) 36
POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS 36
CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES 39
Bloc de béton de chanvre 49
POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS 49
CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES 52
Bloc de Terre Comprimée (BTC) 57
POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS 57
CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES 60
Annexes 64
Fiches de retour d'expérience 64
Glossaire des principaux acronymes 65

Edito

Le secteur du « bâtiment » est engagé dans une mutation d'ampleur, pour répondre aux enjeux de transition environnementale et de décarbonation de l'aménagement.

Conscients de la nécessité de faire évoluer les modes de faire, les acteurs de la construction sont à la recherche des systèmes constructifs et de matériaux qui leurs permettront, à coûts maitrisés, de respecter les évolutions règlementaires ainsi que de réduire l'impact carbone de leurs projets immobiliers.

La période actuelle est donc tout à la fois riche de possibilités mais également source d'inquiétude car derrière chaque innovation il y a une prise de risque.

Consciente des enjeux économiques attachés à ce processus de mutation, la Métropole de Lyon accompagne les acteurs du bâtiment dans ces transformations.

Pour cela, elle intervient à plusieurs niveaux :

- En soutenant et favorisant le déploiement des filières de production de matériaux bio et géosourcés sur son territoire, afin de créer une offre locale dimensionnée pour répondre à l'augmentation des besoins,
- En favorisant la connaissance et les retours d'expérience sur les projets « démonstrateurs » qui ont mis en œuvre des solutions décarbonées reproductibles.

La mission confiée à Ville & Aménagement Durable de recherche, d'analyse et de capitalisation des retours d'expérience et le rapport qui en découle constituent une base de données particulièrement utile pour les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre qui ont en un seul document accès à une bibliothèque de projets analysés dans toutes leurs dimensions techniques, environnementales et économiques.

Par ailleurs ce rapport permet de faire connaître les difficultés rencontrées et les solutions qui sont amenées à se développer.

Un grand merci à Ville & Aménagement Durable pour le travail réalisé !

Emeline Baume

Béatrice Vessiller

Introduction

Contexte

Fin 2021, la Métropole de Lyon a initié une plateforme des acteurs du BTP, démarche de rencontres et d'échanges entre des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des entreprises du territoire métropolitain.

L'ambition de cette plateforme professionnelle est de mobiliser tous les acteurs de la chaîne de valeur du bâtiment et des travaux publics afin de développer une communauté collaborative au regard du développement durable et de la réduction de l'empreinte carbone de nos aménagements et constructions.

En lien avec l'élaboration du Schéma de Promotion des Achats Responsables (SPAR), cette plateforme porte l'ambition de coconstruire une méthode et un modèle de développement urbain durable et responsable sur le territoire grand lyonnais, un modèle qui préserve les ressources naturelles, qui limite les nuisances et les impacts négatifs sur le climat, la nature et la biodiversité…

Figure 1 : Immeuble mixte Saint-Clair © Mathieu Noël

Depuis 2022, les acteurs de la plateforme traitent les thématiques du réemploi ainsi que des matériaux bio et géosourcés.

Parmi les ressources produites sur cette thématique :

- → Des livrets techniques Paille, Chanvre, Pierre et Bois, pour mieux connaitre leurs conditions d'utilisation (caractéristiques, techniques constructives, normes, bilan environnemental, exemples de projets).
- → Une étude du potentiel de développement des filières biosourcées et géosourcées sur le territoire élargi de la Métropole de Lyon, complétée d'un livret de présentation des différentes solutions constructives fabriquées dans la région, réalisés par Karibati [1]
- → Une série de webinaires « Rénover et construire avec des matériaux bio et géosourcés »
- → Des fiches de retours d'expériences de projets de la Métropole.

[1] L'étude réalisée par Karibati en 2023 sur la dynamique de ces filières permet d'avoir une première vision des ressources existantes à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes. En 2025, la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et la Métropole de Lyon souhaitent aller plus loin afin de disposer d'un panorama consolidé des matériaux et systèmes constructifs (bio ou géosourcés) utilisables localement et des entreprises qui les produisent. Elles ont missionné Ville & Aménagement Durable et le Cluster Eco-bâtiment pour la réalisation d'un livrable (fiches produits, annuaire et ressources complémentaires) prévu pour juin 2025. Ces travaux répondent à la nécessité de mettre en visibilité les produits bio et géosourcés disponibles dans la Région dans le champ de la construction et de la rénovation de bâtiment, besoin souligné par la COP régionale bâtiment.

L'ensemble de ces ressources, ainsi que le présent rapport, sont diffusés sur le site internet https://transition-btp.grandlyon.com

En complément, la Métropole a confié à Ville & Aménagement Durable une mission d'analyse transversale de programmes immobiliers de la Métropole de Lyon, construits avec des matériaux bio et géosourcés (aboutis ou non).

Objectif

Il s'agit de comprendre les contraintes, points de vigilance et conditions de réussite de ces programme immobiliers, à travers une analyse de remontées de terrain, en se focalisant sur quatre modes constructifs :

Ossature bois (mur/façade)	Bloc de béton de chanvre
Pierre structurelle	Bloc de terre comprimée (BTC)[2]

Un panel varié d'opérations (équipements publics, logements, tertiaire, ERP ou non, neuf ou rénovation, livré ou en chantier) a ainsi été identifié. Des entretiens ouverts avec les acteurs des projets ont ensuite été menés de mars à septembre 2024, portant sur les solutions techniques mises en œuvre, le montage de projet, l'approvisionnement, les filières mobilisées, le cadre assurantiel, réglementaire, normatif, etc. Pour certains de ces projets, l'intégration de ces matériaux n'a pas pu aboutir et il s'agissait ainsi de comprendre le freins rencontrés. Des experts ont également été associés à ce travail pour consolider cette analyse.

Ainsi, ce rapport vise à refléter une diversité de points de vue et n'a pas vocation à se substituer à des guides existants sur les différentes techniques étudiées.

Il permet ainsi d'apporter un éclairage sur l'enjeu du développement de filières locales de matériaux bio et géosourcés, compte tenu des gisements potentiels présents en région sur les techniques proposées. A titre d'illustration, en Auvergne-Rhône-Alpes :

- La Région AuRA est la 1ère région française en volume de bois sur pied et la 2ème région française en surface (source : Fibois Auvergne-Rhône-Alpes)
- Les surfaces cultivées de chanvre en 2022 étaient de 250 ha (source : Karibati)
- 20 000 m^3 de pierres sont extraites chaque année (source : Rhônapi)
- Le pisé représentant près de 80% du patrimoine construit avant 1947 (source : TERA)

Résultats

Le rapport se structure autour de quatre parties :

- Présentation des projets étudiés
- Enseignements transversaux
- Focus par mode constructif, intégrant des focus sur des contraintes techniques spécifiques
- En annexe :

[2] A noter qu'il existe d'autres types de briques de terre crue industrialisées : BTE (Bloc de Terre Extrudée) BTM (Bloc de Terre Moulée), en plus de la BTC.

- Un glossaire des principaux acronymes
- Des fiches de retours d'expériences sur certaines opérations livrées

Chiffres clés :

→ **17** opérations étudiées :
- dont 5 équipements publics, 9 bâtiments de logements, 1 bâtiment tertiaire et 2 bâtiments mixtes

→ **34** acteurs interviewés

Remerciements

Acteurs des projets et experts interviewés : Alexandre Joët et Edith Bourdoncle – Etamine ; Charline Rey et Marjolaine Roche – Vurpas Architectes ; Emmanuel Ganzhorn, Anne-Lyse Antoine, Sarah Viricel, Justine Legris et Luc Penet – Lieux FAUVES ; Nicolas Desorgeris – Ville de Feyzin ; Roger Garrivier – Manufacture Bois Paille ; Emilie Moissant – JAA Architectes ; Marion Dupré – Inspire ; Sandrine Gonon et Anouk Chabert - Lipstick + Xanadu ; Alexandre Kbidi – Arcade-VYV Promotion ; Yan Beretta – BBC Associés ; Marine Favennec et Martin Rollin – Commune ; Bernard Schmitt – Vessière ; Camille Leclercq et Catherine Leseigneur – Grandlyon Habitat ; Sandrine Devise et Philippe Layec – Spirit ; Vincent Boulet – DDT69 ; Kevin Hellard – OBM ; Grégory Emir – SCI Damavand ; Aurélien Brunel - CMC Promotion Construction ; Denys Léger – Archigroup ; Amélie Imbenotte – Rhônapi ; Jean-Manuel Perraudin – Atelier Perraudin ; Nobouko Nansenet – Wyswyg ; Rémi Pascual – Habitéé ; Sophie Patriarca – ICADE

Relecture : Cyril Pouvesle – DREAL Auvergne-Rhône-Alpes ; Amélie Imbenotte – Rhônapi ; Christelle Juliand – ALEC Lyon ; Jean-Lionel Amblard – CINOV ; David Fayolle – CAUE Rhône Métropole ; Pierrick Serres – Vicat ; Laëtitia Fontaine – amàco ; Anaïs Messere – Fibois Rhône-Métropole

Comité de pilotage : Béatrice Couturier et Vincent Piotrowski – Métropole de Lyon

Rédaction du rapport : Claire Vilasi et Nicolas Emin – Ville & Aménagement Durable

ville & aménagement durable

(R)éveillons nos pratiques

Fiche d'identité des projets

Cliquez sur + pour accéder à la fiche opération

MIXTE

© 11h45

Immeuble mixte Saint-Clair – Caluire-et-Cuire +

Construction d'un bâtiment mixte en R+4 : bureaux, fablab, huit logements collectifs, résidence étudiante, parking en sous-sol

Classification :	code du travail et bâtiment d'habitation de 3ème famille A
Maîtrise d'ouvrage :	**SAS La Goute d'Ebène**
Maîtrise d'œuvre :	AtelierArchitecturePerraudin (architecte) ; Wyswyg (MOEx) ; GEC Rhône-Alpes (économiste) ; RBE (BE fluides) ; TEM Partners (BE structure)
Bureau de contrôle :	Bureau Véritas
Entreprises :	Richard Construction (gros-oeuvre), Thalmann (menuiseries bois)
Livraison :	2021
Surface :	1 500 m² SDP (logements : 750 m² SHAB et bureaux : 680 m² SU)
Coût des travaux :	2,6 M€ HT (hors dépollution, hors démolition, y compris infrastructure radier et reprise en sous-oeuvre et avec deux niveaux livrés bruts)

© Lipstick + Xanadu

Maison des Compagnons du Devoir – Brignais

Construction d'un centre de formation et d'hébergement comprenant sièges administratifs, salles de classe et ateliers de formation

Classification :	Bâtiment de logement : ERP 3eme catégorie (type N et L) Bâtiment de formation : ERP 4eme catégorie (type R) + code du travail dans la zone administration
Maîtrise d'ouvrage :	**SFHE & Les Compagnons du Devoir et du Tour de France (MOA) ; Arcade-VYV Promotion (MOD)**
Maîtrise d'œuvre :	Lipstick + Xanadu (architecte) ; TEM Partners (BE structure) ; New Energie Concept (BE fluides) ; TEM Partners & BET Philippe (économiste) ; Génie Acoustique (BE acoustique) ; C2i Conseil (VRD) ; Wabi-Sab (paysagiste)
Bureau de contrôle :	BTP Consultants
Entreprises :	Mazaud (gros-œuvre), Vaganay (charpente bois), ABFaçade (enduit à la chaux)
Livraison :	Février 2025
Surface :	9 960 m²
Coût des travaux :	18 M €

EQUIPEMENTS PUBLICS

© *Basilico Design*

Collège République Katia Krafft – Vénissieux

Construction d'un collège de 32 classes (730 élèves)

Classification :	ERP de type R et de 2ème catégorie
Maîtrise d'ouvrage :	**Métropole de Lyon**
Maîtrise d'œuvre :	OBM Construction (entreprise mandataire) ; BBC Associés (MOE exécution) ; Etamine (BE QEB) ; Edeis (BE fluides) ; Gantha (BE acoustique) ; Terabilis et développement (paysagiste) ; BETR (cuisiniste) ; Idex (exploitation – maintenance)
Bureau de contrôle :	Socotec / Veritas
Entreprises :	NC
Livraison :	prévue juin 2025
Surface :	7 061 m² SDP
Coût des travaux :	24 240 000 € HT (travaux, prestation intellectuelle, exploitation-maintenance 5 ans)

© *Pierre Descubes*

Groupe scolaire Samuel Paty – Tassin-la-Demi-Lune

Construction d'un groupe scolaire de 15 classes

Classification :	ERP de type R et de 3ème catégorie
Maîtrise d'ouvrage :	**Ville de Tassin-la-Demi-Lune**
Maîtrise d'œuvre :	Vurpas (architecte, économiste, BE QEB) ; ABAC (BE structure et fluides) ; BASE (paysagiste) ; OGI (BE VRD)
Bureau de contrôle :	Alpes Contrôles
Entreprises :	Consultation en cours
Livraison :	prévue décembre 2026
Surface :	3 678 m² SDP
Coût des travaux :	14 179 000 € HT (dont 1,8 M€ aménagements paysagers)

© *Vladimir de Mollerat du Jeu*

Complexe sportif Mohamed Ali – Saint-Fons (ZAC Carnot-Parmentier) +

Construction d'un complexe sportif comprenant une grande salle omnisport, ainsi qu'une salle de boxe et de musculation

Classification :	ERP de type X de 3ème catégorie
Maîtrise d'ouvrage :	**Ville de Saint-Fons**
Maîtrise d'œuvre :	Tekhnê / Lieux FAUVES (architecte mandataire) ; Arborescence (BE structure bois) ; DPI structure (BE structure béton) ; Tribu (BE environnement) ; Strem (BE fluides) ; Peutz (BE acoustique) ; Safege Suez (BE VRD) ; Denizou (économiste)
Bureau de contrôle :	Qualiconsult
Entreprises :	Fontanel (terrassement gros-œuvre) ; SDCC (structure bois) ; Asten (façades vêtures ; couverture étanchéité) ; Thalmann (menuiseries extérieures – occultations)
Livraison :	décembre 2022
Surface :	2 247 m² SDP
Coût des travaux :	3 910 680 € HT (études + travaux)

Ecole Saint-Exupéry – Villeurbanne

Extension d'une école pour création d'une salle de classe, dortoir, bloc sanitaire et tisanerie

© Giaime Meloni

Classification :	ERP de type R et de 5ème catégorie
Maîtrise d'ouvrage :	**Ville de Villeurbanne**
Maîtrise d'œuvre :	Commune (architecte, OPC), Vessière (structure), MGplus (fluides)
Bureau de contrôle :	Alpes Contrôles
Entreprises :	Jean Nallet Construction (VRD, gros-œuvre) ; Chanvre et Bois (charpente, couverture, béton de chanvre) ; Les Menuisiers du Rhône (menuiserie extérieure)
Livraison :	août 2022
Surface :	143 m²
Coût des travaux :	465 000 € HT

Groupe scolaire du bois du Fort – Feyzin

Construction d'un groupe scolaire de 10 classes (zone PPRT)

© Lieux FAUVES

Classification :	ERP de type R N et L et de 4ème catégorie
Maîtrise d'ouvrage :	**Ville de Feyzin**
Maîtrise d'œuvre :	Lieux FAUVES/Tekhnê (architecte mandataire, paysage, OPC) ; Inddigo (BE thermique, fluides, QEB, SSI) ; Arborescence (BE structure) ; Denizou (économiste) ; Peutz (BE acoustique) ; ICP (cuisine collective) ; 3iA (VRD)
Programmiste :	Florès
Bureau de contrôle :	Veritas
Entreprises :	Favrat (structure et vêture bois) ; Thalmann (menuiseries bois et occultations)
Livraison :	2024
Surface :	2 238 m² SDP
Coût des travaux :	6 470 000 € HT

LOGEMENT

Logements de l'îlot pasteur – Lyon 8 (ZAC Mermoz sud)

Construction de deux immeubles de logements collectifs en R+5 et R+7 (39 logements avec locaux d'activité en RDC)

© Spirit Immobilier (MOA) ; Okho (architecte)

Classification :	bâtiment d'habitation de 3ème famille B
Maîtrise d'ouvrage :	**Spirit Immobilier**
Maîtrise d'œuvre :	Okho (architecte) ; Etamine (BE QEB) ; Illiade (BE fluides et VRD) ; Graphyte (paysagiste), Osmoz (économiste) ; GES (BE structure)
Bureau de contrôle :	Dekra
Entreprises :	non attribué
Livraison :	NC
Surface :	3 291 m², dont 3 088 m² SDP logements et 200 m² SU locaux d'activité
Coût des travaux :	NC

Les Floralines – Irigny +

Construction de 8 logements individuels pour des gens du voyage sédentarisés

© GrandLyon Habitat

Classification :	bâtiment d'habitation de 1ère famille
Maîtrise d'ouvrage :	**GrandLyon Habitat**
Maîtrise d'œuvre :	Atelier Torrecilla Architecte (architecte, économiste) ; Frairot (BE structure) ; EPCO (BE fluides)
Bureau de contrôle :	Alpes Contrôles
Entreprises :	Socopa (préfabrication bois – lot clos-couvert)
Livraison :	mars 2021
Surface :	553 m² SDP, 525 m² SHAB
Coût des travaux :	1 383 000 € HT

Surville – Lyon 8 +

Construction de 14 logements individuels pour des gens du voyage sédentarisés

© GrandLyon Habitat

Classification :	bâtiment d'habitation de 1ère famille
Maîtrise d'ouvrage :	**GrandLyon Habitat**
Maîtrise d'œuvre :	Atelier Torrecilla Architecte (architecte, économiste) ; Structure Bâtiment (BE structure) ; EPCO (BE fluides)
Bureau de contrôle :	Alpes Contrôles
Entreprises :	Socopa (entreprise générale TCE)
Livraison :	2016
Surface :	942 m² SDP, 898 m² SHAB
Coût des travaux :	2 192 000 € HT, dont 1 406 000 € HT de coût de construction et 250 000 € HT de coût VRD et aménagements extérieurs

Ampère – Pierre-Bénite +

Construction de deux logements (mitoyens à une maison pisé réhabilitée, non traitée dans l'étude)

© *Emmanuel Correira*

Classification :	bâtiment d'habitation de 1ère famille
Maîtrise d'ouvrage :	**GrandLyon Habitat**
Maîtrise d'œuvre :	Julien Fontaine (architecte, économiste) ; Tête de Bois (BE structure) ; ATBA (BE fluides)
Bureau de contrôle :	Qualiconsult
Entreprises :	Bati-Nature (préfabrication bois-paille)
Livraison :	2014
Surface :	157 m² SHAB, 161 m² SDP
Coût des travaux :	555 000 € HT, dont 407 000 € HT de travaux compris VRD

L'Oïkos – Lyon 5 +

Construction de 10 logements sociaux passifs en R+3

© *GrandLyon Habitat*

Classification :	bâtiment d'habitation de 2ème famille
Maîtrise d'ouvrage :	**GrandLyon Habitat**
Maîtrise d'œuvre :	Antoine Bernadal et Guillaume Supply (architectes) ; l Économiste : ABC Eco (économiste) ; Frairot (BE structure) ; BE Energy (BE fluides)
Bureau de contrôle :	Alpes Contrôles
Entreprises :	Farjot (bois)
Livraison :	mai 2014
Surface :	881 m² SHON
Coût des travaux :	2 312 859 € (TVA 7%)

Pierre Levée – Lyon 9 (ZAC Duchère Sauvegarde)

Construction de 69 logements en deux bâtiments reliés par un sous-sol commun (bâtiment G en R+6 et bâtiment H en R+5)

© *Wyswyg*

Classification :	bâtiment d'habitation de 3ème famille A
Aménageur ZAC :	SERL
Maîtrise d'ouvrage :	**Habitéé, Icade et Immo de demain (AMU)**
Maîtrise d'œuvre :	Gautier Conquet (MOE urbaine) ; Wyswyg Architecture (architecte) ; Osmoz (BE fluides et thermique) ; CPOS (BE HQE), Champlibre (paysagiste) ; GEC (économie)
Bureau de contrôle :	Apave
Entreprises :	non attribué
Livraison :	prévue 2027
Surface :	5 363 m² SDP
Coût des travaux :	10,2 M€ HT

Le Cèdre – Lyon 3 +

Réhabilitation et extension de 2 logements, construction de 4 logements en R+2, salle commune, jardin partagé, abris-vélo

© Wyswyg Architecture

Classification :	bâtiment d'habitation de 2ème famille
Maîtrise d'ouvrage :	**SACVL (MOA) ; Habitat et Humanisme (gestionnaire)**
Maîtrise d'œuvre :	Wyswyg Architecture (architecte) ; GEC GEC Rhône Alpes (économiste) ; Cogeci (BE structure) ; EPCO (BE fluides)
Bureau de contrôle :	Bureau Veritas
Entreprises :	Truffy (gros-œuvre) ; Coquaz & Béal (pierre)
Livraison :	mars 2025
Surface :	392 m² SDP
Coût des travaux :	1,021 M€ HT

Maison de la Diversité – Lyon 4

Construction de 15 logements à destination de séniors LGBT+ (R+3)

© JAA Architectes

Classification :	bâtiment d'habitation de 2ème famille + ERP 5ème catégorie type salle polyvalente en RDJ
Maîtrise d'ouvrage :	**Croix-Rouge habitat représenté par Groupe Arcade-VYV**
Maîtrise d'œuvre :	JAA Architectes (architecte) ; Matte (BE fluide et structure) ; Sequoia (BE HQE) ; BET Philippe (économiste) ; Wabi Sabi (paysagiste)
Bureau de contrôle :	Bureau Veritas
Entreprises :	Lachana EG. (maçon)
Livraison :	prévue 2025
Surface :	716 m² SDP
Coût des travaux :	2 M€ HT

Jardin des Balmes – Lyon 4

Construction de 5 petits immeubles de tailles variées, comprenant 8 à 36 logements, sur 2 à 5 étages

© GrandLyon Habitat

Classification :	bâtiment d'habitation de 2ème famille et 3ème famille A
Maîtrise d'ouvrage :	**GrandLyon Habitat**
Maîtrise d'œuvre :	Rue Royale Architectes, Archipat (architectes) ; EODD (BE QEB) ; Osmoz (BE économiste, fluides, structure) ; MOZ paysage ; ECR Environnement (VRD), Peutz (BE acoustique)
Bureau de contrôle :	BTP Consultants
Entreprises :	Mazaud (entreprise générale)
Livraison :	prévue fin 2026 début 2027
Surface :	8 664 m² SDP (874 m² MEJ, 546 m² locaux activité, logements : 4 688 m² accession et 2 555 m² locatif)
Coût des travaux :	17 M€ HT

TERTIAIRE

© Entourage Communication

Bureaux et entrepôt Hydroscand – Genas (ZAC Everest) +

Construction d'un bâtiment d'activité tertiaire

Classification :	code du travail
Aménageur ZAC :	SERL
Maîtrise d'ouvrage :	SCI DAMAVAND
Maîtrise d'œuvre :	Archigroup (architecte et paysagsite) ; Ingégroup (BE thermique et environnement)
Bureau de contrôle :	Socotec
Entreprises :	CMC Promotion Construction (contractant général) Richard Construction (entreprise gros œuvre pierre massive)
Livraison :	2024
Surface :	3 697 m² dont 857 m² SDP de bureaux
Coût des travaux :	3,8 M€ HT

Enseignements transversaux

FACTEURS AYANT FACILITE LA MISE EN ŒUVRE DE MATERIAUX BIO ET GEOSOURCES

1. Des documents cadres (réglementations nationales ou locales, cahier des charges de ZAC, référentiels locaux, etc.) retranscrivant une volonté politique en faveur de ces matériaux et permettant une anticipation de leur intégration dans le projet
2. Un choix de matériaux et de techniques constructives disposant de filières structurées et d'un cadre réglementaire et normatif favorable
3. Un jeu d'acteurs favorable (interlocuteurs formés ou expérimentés ou a minima volontaires pour étudier ces solutions constructives)
4. Des produits ou process optimisés et éprouvés, garants d'une bonne mise en œuvre sur le chantier
5. Une économie de projet maîtrisée via une conception adéquate (compatibilité entre la conception architecturale et la technique constructive, choix du bon matériau au bon endroit, optimisation et rationalisation structurelle…)
6. La valorisation de la qualité de ces matériaux (en termes environnemental, de confort, esthétique, sociale…) auprès de la maîtrise d'ouvrage et des futurs usagers
7. Une vigilance accrue sur le suivi de chantier pour éviter toute contre-référence pouvant fragiliser la filière
8. L'appui sur des opérations de référence ayant mis en œuvre ces matériaux, à des échelles variées, et qui ont fait la « preuve par l'exemple »

Figure 2 : L'Oïkos © GrandLyon Habitat

COMMENT RENFORCER L'INTEGRATION DES MATERIAUX BIO ET GEOSOURCES ?

Les entretiens menés avec les acteurs des projets ont permis d'identifier différents leviers pour renforcer l'intégration de matériaux bio et géosourcés, à deux niveaux :

- ⇨ Approche générale : ces recommandations s'adressent aux donneurs d'ordre, réseaux institutionnels, fédérations, filières/industriels/entreprises de fourniture, acteurs de la formation et de la diffusion
- ⇨ A l'échelle du projet : à destination des maîtres d'ouvrages, des équipes de MOE et des entreprises de travaux.

Chaque levier est précisé et illustré par des témoignages d'acteurs à partir de la page 17.

Approche générale	A l'échelle du projet
→ Disposer de documents cadres cohérents et adaptés aux contraintes du terrain (réglementations nationales ou locales, cahier des charges de ZAC, référentiels locaux, etc.) → Renforcer la structuration globale de la filière (de la fourniture à la mise en œuvre) et mieux la mettre en visibilité → Développer les solutions techniques par les fournisseurs pour mieux maîtriser l'équation économique des projets et répartir les risques → Opérer un changement d'échelle dans la prescription (intégration dans des projets d'envergure) → Améliorer la sensibilisation et la formation de tous les acteurs (réappropriation de savoir-faire et formation à de nouvelles techniques spécifiques, acculturation de la MOA,…) → Mieux mettre en visibilité le cadre normatif et réglementaire et faciliter son adaptation aux nouvelles techniques quand nécessaire → Faire valoir les qualités de ces matériaux (en termes environnemental, social, pédagogique…)	→ Disposer d'une équipe compétente (de la fourniture à la mise en œuvre) ou a minima volontaire pour étudier ces solutions constructives → Maîtriser l'économie du projet par une conception adéquate (compatibilité entre la conception architecturale et la technique constructive, choix du bon matériau au bon endroit, optimisation et rationalisation structurelle…) → Accroitre la vigilance en conception pour éviter toute sinistralité qui créerait de la défiance de la part du MOA pour ces matériaux → Anticiper l'intégration de ces matériaux dès le montage du marché (marché de base et option, labels garantissant un approvisionnement local…) → Accroitre la vigilance lors de la mise en œuvre et le suivi de chantier (vigilance sur les interfaces, la gestion des différents intervenants, avantage de la préfabrication, intérêt d'une mission complète confiée à la MOE…)

Figure 3 : Immeuble mixte Saint-Clair © Mathieu Noël

Figure 4 : Bureaux et entrepôt Hydroscand © Entourage Communication

Approche générale

→ Disposer de documents cadres cohérents et adaptés aux contraintes du terrain

En plus d'un cadre réglementaire national (par exemple : la RE2020), des réglementations locales ou des démarches volontaires de MOA peuvent s'appliquer, ajoutant des contraintes spécifiques au projet.

Par exemple :

- Plan Local d'urbanisme ;
- Cahier des charges de ZAC ;
- référentiels locaux type Référentiel Habitat Durable de la Métropole de Lyon ;
- labels et certifications type HQE, NF Habitat, BBCA, Bâtiment biosourcé.

Ces cadres et démarches présentent l'intérêt de retranscrire une volonté politique. Néanmoins, les contraintes imposées par ces différents documents peuvent être contradictoires et jouer en défaveur de la mise en œuvre de certains systèmes constructifs.

Un point de vigilance porte sur l'écriture des documents cadres tels que les CPAUP ou les référentiels locaux afin de laisser une marge de manœuvre aux projets actuels et à venir, au regard d'un contexte réglementaire susceptible d'évoluer.

« Parmi les leviers permettant de réaliser ce projet ambitieux (collège Katia Krafft) : une volonté politique affirmée de la part de la MOA, se traduisant par une approche de qualité environnementale sur l'ensemble du projet avec par exemple l'exigence d'atteindre le niveau 3 du label bâtiment biosourcé, ou encore le choix d'un montage de type MGP (Marché Global de Performance). En parallèle, la MOA a beaucoup communiqué autour de ses objectifs "biosourcés" (usage massif du bois et de la paille) ceci a permis de maintenir les ambitions tout au long du projet. »

Etamine

Exemple d'une opération de logements de 3ème famille B, dans une ZAC où la FOB a été abandonnée au profit d'une façade béton bas carbone isolée par l'intérieur :

« L'opération a connu des écueils liés à une décorrélation entre le cahier des charges de la ZAC et les évolutions réglementaires. Le CPAUP de la ZAC, qui datait, amenait des contradictions avec la contrainte carbone de la réglementation d'aujourd'hui. Les plans masses dessinés par les urbanistes figent des morphologies pas forcément adaptées, alors qu'il faudrait laisser une certaine latitude pour traiter les sujets actuels.

D'autres contraintes architecturales de la ZAC, telles que le refus d'enduit sur isolant, ne laissent pas beaucoup de marge de manœuvre en faveur de la FOB : les bardages bois n'étaient pas souhaités par la MOA et les autres bardages ont un poids carbone non cohérent avec la RE2020. »

Spirit

« Il est important de ne pas imposer de systèmes mais de mettre en avant des objectifs. S'appuyer sur l'expertise de la MOE permet de déterminer le système adapté aux objectifs en fonction des spécificités du programme et du site. »

CAUE Rhône Métropole

« Les matériaux géosourcés sont peu favorisés par le Référentiel Habitat Durable de la Métropole de Lyon, alors que pour le logement, la réglementation nous limite sur les biosourcés à partir d'une certaine hauteur pour des raisons de sécurité incendie.

Aussi, dans le cas de la FOB, il faut un important développé de façade pour atteindre les 18 kg/m² SHAB demandé par le référentiel. Mais ce principe rentre en opposition aux logiques de la RE2020 qui privilégient les formes compactes.

Il serait intéressant de prendre en compte les filières de type pierre de taille qui se développent de plus en plus avec des carrières situées à moins de 300km. La prise en compte de ces filières permettrait de réaliser des projets mixte bio/géosourcés, qui serait un bras de levier non négligeable pour l'atteinte des futurs seuils, en conformité avec les normes et règles techniques en vigueur. »

Arcade-VYV

→ **Renforcer la structuration globale de la filière (de la fourniture à la mise en œuvre) et mieux la mettre en visibilité**

Exemple :

- outils cartographiques développés par le Collectif de la Frugalité Heureuse & Créative AURA, Fibois AURA, Oïkos, le CEREMA …
- annuaires et fiches produits (ex : Bois d'ici, recensement réalisé dans le cadre de la COP régionale – voir p.4)
- plus largement les actions menées par les réseaux professionnels (ex : Fibois, RFCP, amàco)

« Le marché allemand peut entrer en concurrence sur la construction bois car la filière est plus développée qu'en France. »

GrandLyon Habitat

« Les carrières ne sont pas encore suffisamment organisées pour suivre la demande et doivent s'industrialiser pour être plus réactives et performantes en prix. »

Richard Construction

→ **Développer les solutions techniques pour mieux maîtriser l'équation économique des projets et répartir les risques**

« Aujourd'hui, même si nous souhaitons intégrer des matériaux biosourcés et que la MOA est motrice, nous sommes confrontés à une problématique de coût et de réglementation. Il est nécessaire que les fournisseurs travaillent des solutions techniques et un cadre réglementaire pour faciliter la mise en œuvre de ce type de matériaux, notamment sur des ERP ou des projets de grande ampleur. Les responsabilités doivent être partagées entre les acteurs de la construction.»

Lipstick + Xanadu

→ **Opérer un changement d'échelle dans la prescription**

Intégrer ces matériaux sur des projets d'envergure avec d'importants volumes de matériaux bio et géosourcés permettra de structurer les filières, de maîtriser les coûts et de prouver que cela fonctionne.

« Sur le collège Katia Krafft de Vénissieux, comptant près de 3 400 m² de COB et sur une fenêtre de livraison très courte, il n'a pas été possible de se fournir intégralement auprès des acteurs locaux.»

Etamine

« L'enjeu des prochaines années sera de pouvoir répondre dans de bonnes conditions (qualité, pénibilité, capacité) au besoin de massification du bois-paille. A ce titre, nous prévoyons de fabriquer 25 000 m² de murs bois-paille en 2025 grâce à notre presse unique spécialement conçue pour le remplissage par bottes de paille.

Nos murs partent actuellement dans toute la France car la demande locale n'est pas suffisante. Mais cela est en train d'évoluer dans le bon sens. Nous espérons à terme pouvoir faire du circuit court tant sur l'amont que sur l'aval. »

Manufacture bois-paille

« Au-delà des projets d'envergures nécessaires, le changement d'échelle dans la prescription du bois et de matériaux bio et géosourcés passe aussi par la multiplication de projets de petites échelles (logement en 1ère et 2ème famille, ERP de 5ème catégorie). Sur ces typologies d'opérations, il est plus facile de rentrer dans le cadre des techniques courantes et les contraintes techniques peuvent être amoindries.

Cela passe par une sensibilisation des maîtres d'ouvrage publics et privés. »

DREAL AURA

→ **Améliorer la sensibilisation et la formation de tous les acteurs**

Une montée en compétence globale de tous les acteurs sur ces matériaux est nécessaire (réappropriation de savoir-faire et formation à de nouvelles techniques spécifiques, acculturation de la MOA…) Un architecte pointe également l'importance de compétences intégrées afin d'éviter le délitement en multi-spécialités dans les équipes de MOE.

Exemple de la filière paille : la formation « Pro-Paille » à destination des professionnels de la conception et de la mise en œuvre est nécessaire pour l'application des Règles professionnelles de la construction paille. Cette formation permet d'établir des process éprouvés en interne.
Voir formations sur le site du RFCP

Exemple de la filière chanvre : il n'existe pas actuellement de CAP pour construire en béton de chanvre.
Mais la filière chanvre évolue, avec l'arrivée des nouvelles Règles professionnelles à l'été 2024. En plus d'élargir le domaine d'emploi des travaux en béton de chanvre, ce nouveau texte rend la formation des professionnels intervenant sur ce type de travaux obligatoire.
Voir formations de Construire en chanvre

Exemple de la filière terre crue : pour les appels d'offres sur le pisé par exemple, il y a généralement très peu de réponses d'entreprises compétentes. Cette absence de concurrence peut amener à des prix très élevés, même si cela change actuellement grâce à la structuration de nouveaux acteurs comme Terrio.

« Les blocs de chanvre préfabriqués sont mis en œuvre par des maçons. Cependant, cela nécessite une application précautionneuse (bloc friable, relativement fragile) et différente d'une mise en œuvre plus traditionnelle (brique ou moellon). D'une manière générale, nous constatons un manque de savoir-faire en dehors de certaines entreprises du fait de ce procédé récent. Il est nécessaire d'améliorer la formation des compagnons et les accompagner pour assurer une bonne exécution sur chantier. »

Lipstick + Xanadu

« Les personnes et les entreprises qui prescrivent ou mettent en œuvre conformément au référentiel «Règles professionnelles d'exécution d'ouvrages en bétons de chanvre » doivent obligatoirement suivre avec succès une formation dispensée par un formateur agréé par Construire en Chanvre et habilité à lui fournir une attestation de stage numérotée et nominative. La liste des formateurs agréés et la procédure d'agrément des formateurs est disponible sur le site internet de l'association Construire en Chanvre.»

Construire en chanvre - Règles pro v2024

« Lors des 'Vendredis du pisé' organisés par l'association TERA avec le soutien de la DREAL, une session était dédiée au montage de projet. Certaines entreprises ont pu faire remonter leurs difficultés à répondre à des appels d'offres publics présentant des choix architecturaux difficilement compatibles avec les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue. Il y a sans doute un besoin d'une meilleure articulation entre maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et entreprises qui in fine mettent en œuvre le pisé. »

DREAL AURA

→ **Mieux mettre en visibilité le cadre normatif et réglementaire et faciliter son adaptation aux nouvelles techniques quand nécessaire**

La connaissance et l'appropriation de ces textes de références par les professionnels favorisent l'utilisation de matériaux bio et géosourcés. En conception notamment, la maîtrise d'œuvre doit être en mesure de s'appuyer sur les textes normatifs adéquats pour ouvrir le dialogue avec le contrôleur technique.

Les Règles professionnelles :
Rédigées par les acteurs d'une filière, elles permettent de faciliter les opérations en donnant un cadre de référence. Acceptées par la C2P, les techniques décrites sont alors considérées comme « techniques courantes », dans la limite du domaine d'application défini, et peuvent alors être assurées sans besoin de fournir des études complémentaires.
Ces Règles professionnelles permettent ainsi de faire évoluer le cadre assurantiel, comme le montre l'évolution de celle du chanvre en 2024 qui élargissent le domaine d'emploi aux ouvrages jusqu'à 33 m de haut aux ERP pouvant accueillir plus de 1 500 personnes.

Les Avis techniques (ATec) :
En parallèle, les fournisseurs développent de nouvelles solutions et produisent des ATec sur lesquels les architectes et bureaux d'études peuvent s'appuyer. Cela permet de rééquilibrer le portage de risque.
Les ATec inscrits sur la liste verte de la C2P décrivent des techniques courantes. Certains ATec ne sont pas sur cette liste verte et présentent donc des produits employables en technique non courante.

« La mise en œuvre de matériaux bio ou géosourcés est plus compliquée aujourd'hui sur certaines typologies comme l'hospitalier ou les piscines car les normes sont plus contraignantes que sur d'autres types d'ERP ou sur du logement. La taille de l'opération est également à prendre en compte, il est plus facile d'intégrer des matériaux biosourcés sur des projets plus petits. Il faut réfléchir en amont pour intégrer les bons matériaux aux bons endroits. »

Lipstick + Xanadu

« Pour l'opération d'Ampère (logements en bois paille livrés en 2014), les Règles professionnelles de la construction paille avaient été publiées et validées en amont. Il n'y alors pas eu de sujet technique ni assurantiel sur le bois-paille, bien que ce fut une première pour GrandLyon Habitat »

GrandLyon Habitat

« Dans le cas du logement[1], l'Avis technique des blocs à emboîtements Biosys BCE de Vicat nous précise qu'ils ne peuvent être employés que dans des bâtiments d'habitation de 1ère et 2ème famille, dans la limite d'une construction en R+1 ou en remplissage. Il est donc décrit pour répondre à la mise en œuvre des blocs sur de la maison individuelle. Pour adapter le procédé constructif aux contraintes du logement collectif, nous avons dû échanger à de nombreuses reprises avec l'industriel pour mettre au point les détails permettant de réaliser le projet.»

JAA Architectes

[1] A noter que les bâtiments relevant du Code du Travail et les ERP sont également visés par l'avis technique.

Les Appréciations techniques d'expérimentation (ATEx) :
Des projets pilotes innovants permettent également de faire évoluer ce cadre.

NB : chaque ATec ou ATEx est soumis à un domaine d'emploi souvent limitatif à bien prendre en compte (voir exemples donnés dans les focus par mode constructif ci-après).

Une évolution du cadre normatif et réglementaire pourrait également permettre de mieux faire valoir les qualités intrinsèques des matériaux bio et géosourcés, en termes d'inertie, de comportement hygroscopique, etc.

« Le cadre réglementaire et normatif ne tient pas suffisamment compte de l'inertie de la pierre et du lien avec le confort d'été, et ne permet pas de valoriser pleinement ces propriétés en plus de son faible impact carbone.»

Ingegroup

« Concernant la construction bois en logement, le DTU de la FOB est récent. Tout est très adapté au R+3/4 mais au-delà on se retrouve bloqué. Les bâtiments à usage de logements à partir de la 3ème famille sont très nettement impactés dans leur conception par les règles de sécurité incendie. Or, les règles professionnelles générales en la matière se construisent très lentement (les appréciations de laboratoires induites par l'IT249 sont éditées trop tardivement et au coup par coup), aucun avis technique générique ne peut être appliqué (seules des ATEX sont mobilisables ou peuvent être initiées entrainant des procédures lourdes). »

Spirit

→ Faire valoir les atouts de ces matériaux

Produire et diffuser des retours d'expérience permet de mettre en avant les multiples bénéfices associés à ces matériaux (externalités positives).
Ce bénéfices peuvent être d'ordre :

Environnemental : les filières biosourcées et géosourcées présentent généralement un bilan carbone avantageux (ressources végétales « puits de carbone », transformations minimisées, etc.).
Une conception optimisée permet également de réduire les émissions de carbone et la consommation d'énergie et de ressources : optimisation des chutes, réemployabilité, etc.

Social : intensité sociale importante (nécessité de compétences spécifiques et d'une main d'œuvre qualifiée), possibilité de mise en œuvre via des chantiers d'insertion, etc.

Esthétique : cette caractéristique peut être source de motivation pour des compagnons sur le chantier. Par exemple : le montage d'un mur en pierre massive donne immédiatement un rendu « élégant »

Facilité de mise en œuvre : selon les matériaux, la mise en œuvre n'est pas plus complexe qu'en maçonnerie traditionnelle.
Les possibilités offertes par la préfabrication peuvent faciliter la mise en œuvre sur le chantier (voir focus sur la préfabrication p.28).

« Désacraliser la pierre aiderait à enlever cette image de matériau de luxe et compliqué à utiliser. C'est l'une de techniques les plus simples utilisée par les premiers bâtisseurs humains. »

Richard Construction

« Le surcoût lié à la pierre pour la zone bureaux de l'opération de Genas a été estimé à 5% du budget travaux global. Cette plus-value est raisonnable compte tenu des bénéfices associés à la pierre : élégance, pérennité, bilan carbone, apport d'inertie. »

Archigroup

« Pour construire en pierre, il faut concevoir en comprenant la ressource et en s'adaptant à la manière dont les carriers l'extraient et la transforment aujourd'hui. Nous favorisons aussi le recours aux blocs déclassés, les pierres mal aimées, en acceptant ce que d'autres considèrent comme des défauts. Ce sont des choix qui évitent le gaspillage en matière et en énergie ainsi que ses corollaires »

Wyswyg

« La pierre n'émet pas de polluants chimiques. D'où son utilisation par l'agence sur des projets de chais viticoles à partir de 1994, avant de construire d'autres typologies de bâtiments. »

Perraudin

« Pour la construction en terre crue, le choix de la BTC est sécuritaire. S'agissant d'un produit industrialisé, il n'y a pas besoin de caractériser des terres de site par exemple. La pose, peut être fait par toute entreprise de maçonnerie, contrairement au pisé ou à la bauge.»

Vurpas Architectes

Confort : sur le confort d'été, qui est une vraie préoccupation aujourd'hui, certains de ces matériaux ont des caractéristiques propices, d'autres moins. Par exemple, les matériaux lourds tels que la pierre ou la BTC amènent de l'inertie au bâtiment. La construction bois, plus légère, est moins performante sur le sujet. Des associations complémentaires matériaux lourds / matériaux légers sont donc à trouver pour traiter l'inertie thermique du bâtiment utile au confort d'été.
A noter également le comportement hygroscopique de certains matériaux (terre crue, pierre, béton de chanvre, bois, etc.) qui permet de réguler l'humidité relative des espaces intérieurs, ce qui contribue au confort des occupants en été comme en hiver.

« Sur le groupe scolaire de Tassin-la-Demi-Lune, les cloisons en BTC apportent de l'inertie à un bâtiment à majorité bois. Associé à un dispositif de surventilation nocturne naturelle, cela permet de maîtriser le confort d'été.
La BTC permet également de réguler l'hygrométrie. »
Vurpas Architectes

Pédagogique : intégrer ces matériaux peut servir de support pédagogique en particulier dans des bâtiments recevant le jeune public.

« Sur le collège Katia Krafft à Vénissieux, la pose de la première botte de paille a été faite avec les enfants du Conseil Municipal de la Jeunesse. Cela a été accompagné d'un discours de la Métropole de Lyon (MOA) sur la nécessité de créer des lieux pour apprendre et d'apprendre des lieux que l'on construit. »
Etamine

Ainsi, chaque matériau a ses caractéristiques propres dont il faut savoir tirer avantage. Le tout est donc de mettre « le bon matériau au bon endroit », d'où l'importance de la mixité des solutions.

« La mixité des matériaux me semble le plus approprié, en utilisant les matériaux selon leurs propriétés les plus avantageuses. Le bois ne convient pas aux soubassements par son manque de caractéristique mécanique, la pierre y est le mieux placée. Et inversement pour les étages (sur des ouvrages moins hauts, la terre crue est très intéressante en élévation également). En fondation le béton armé reste le plus intéressant. Sur les ouvrages horizontaux, le bois ou le béton sont les plus adaptés.
Plus on fera de la mixité, moins on créera de tension sur les filières »
Richard Construction

Figure 5 : Pose de la première botte de paille par le Conseil Municipal de la Jeunesse – Collège Katia Krafft © Etamine

A l'échelle d'un projet

→ **Disposer d'une équipe compétente** (de la fourniture à la mise en œuvre) ou a minima volontaire pour étudier ces solutions constructives.

Chaque acteur a son rôle à jouer pour une meilleure intégration de produits bio et géosourcés :

La maîtrise d'ouvrage : doit être motrice et suffisamment impliquée pour apporter un soutien (politique, financier…) et fournir un cadre propice au projet (programme adapté, expertise de l'équipe…).

L'équipe de maîtrise d'œuvre : doit être techniquement compétente sur ces matériaux pour :

- anticiper les éventuelles problématiques assurantielles ;
- lever la peur de l'innovation ;
- partager une culture du matériau permettant une conception optimisée.

Les échanges entre ses membres sont essentiels pour lever les freins.

Les entreprises : doivent maîtriser ces techniques afin d'en assurer une mise en œuvre appropriée.

Le contrôleur technique :
L'interlocuteur missionné sur le projet doit être formé à ces matériaux ou a minima être favorable à un dialogue poussé avec l'équipe de maitrise d'œuvre pour prescrire les solutions conformes aux normes sans sur-complexifier la construction.

Les assureurs : doivent également être sensibilisés à ces sujets.

Les industriels : doivent être ouverts aux échanges avec les équipes de MOE pour mettre au point les détails adaptés aux projet et développer des produits qui répondent aux besoins du terrain.

« GrandLyon Habitat n'impose jamais de modes constructifs, mais donne des lignes directrices : filières sèches, bas carbone, Référentiel Habitat durable, etc. Il s'agit ensuite de s'appuyer sur l'expertise technique de la maîtrise d'œuvre. »

GrandLyon Habitat

« Chargée de piloter l'opération, la maîtrise d'ouvrage accorde une attention particulière à s'entourer des compétences et expertises indispensables à la réalisation de ce projet innovant et techniquement exigeant. »

(à propos de Pierre Levée)

Habitéé

« Pour le groupe scolaire du Fort à Feyzin, situé en zonage PPRT, la maîtrise d'œuvre et particulièrement le bureau d'étude structure bois, a entrepris de justifier par le calcul que ce bâtiment bois-paille se comportait aussi bien qu'une construction béton sous l'effet de souffle (…). Il a ensuite été nécessaire de solliciter les compétences et l'expertise de l'entreprise de charpente qui a accepté de travailler en dehors de toutes habitudes et de relever un nouveau défi pour que le projet conserve son cap. »

Lieux FAUVES

« Face à la complexité croissante des règles feu portant sur la construction bois, le dialogue poussé entre l'équipe de maitrise d'œuvre (architecte et bureau d'étude structure) et le bureau de contrôle est indispensable pour prescrire les solutions conformes aux normes sans sur-complexifier la construction. Quelques bureaux de contrôle sont dotés de référents nationaux sur les sujets bois et biosourcés. La bonne expertise des ingénieurs et des contrôleurs techniques est facilitatrice. »

Lieux FAUVES

→ **Maîtriser l'économie du projet par une conception adéquate**

Bonnes pratiques :

- adopter une conception architecturale compatible avec la technique constructive et adaptée à la ressource dès le premier coup de crayon (par exemple : calepinage suivant caractéristiques et contraintes du produit) ;
- utiliser le bon matériau au bon endroit ;
- intégrer une logique de coût global et accepter une plus-value maîtrisée, compte tenu des bénéfices apportés par le matériau ;
- valoriser la performance de l'enveloppe pour réduire les coûts sur les lots techniques avec un dimensionnement plus juste et optimisé ;
- travailler sur l'allégement des fondations et la rationalisation de la structure, et limiter les infrastructures ;
- pré-consulter des entreprises au stade conception, dès l'APS ou l'APD, pour valider et optimiser certaines solutions techniques, tout en veillant à garder l'indépendance de la MOE vis-à-vis des entreprises.

« Une structure maîtrisée (poteaux béton) et une façade biosourcée non porteuse permettent une liberté et capacité d'évolution du projet. »

Lipstick Xanadu

« En loi MOP, notamment dans le cas d'un MGP, les choix architecturaux doivent être faits rapidement. Les délais sont très courts pour un niveau de rendu APS. Dès les premiers coups de crayon, il est donc nécessaire de prendre en compte les contraintes inhérentes aux choix constructifs.

Pour les caissons bois isolés en paille par exemple, l'épaisseur de l'enveloppe est un facteur important (une botte de paille standard a une épaisseur de 36 cm) mais il faut également prendre en compte la dimension des trumeaux : entre les montants bois 45 mm, il faut en effet anticiper des largeurs minimales afin de pouvoir isoler en paille (une botte standard mesure 47 cm de large). Des largeurs moindres sont possibles mais elles nécessitent une dégradation de la botte standard voire le recours à de la laine de bois si l'espace est trop contraint : l'économie de projet et la performance de l'enveloppe ne seront optimisés qu'en respectant ce standard. Les fabricants fournissent des gabarits précis permettant d'anticiper ces contraintes. »

Etamine

« Pour le groupe scolaire du Fort à Feyzin (bois-paille), les études géotechniques annonçaient un sol étant proche de l'imperméable et surtout très peu porteur, nécessitant un renforcement lourd par colonnes ballastées. Nous avons donc fait le choix du géocompactage, rendu possible par le mode constructif très léger. Cette technique ne modifie pas la composition du sol, et s'est ici avérée plus rapide et moins coûteuse que la première solution.»

Lieux FAUVES

→ **Accroitre la vigilance en conception** pour éviter toute sinistralité qui créerait de la défiance de la part du MOA pour ces matériaux

Cette vigilance accrue concerne par exemple la gestion de l'humidité. Ces matériaux n'aimant pas avoir les « pieds dans l'eau » (à l'exception de la pierre), un soubassement béton peut ainsi être cohérent pour traiter le risque, renvoyant ainsi au principe du bon matériau au bon endroit. Aussi, certaines typologie seront plus sensibles sur ces sujets : hospitalier, piscine, etc.

→ **Anticiper l'intégration de ces matériaux dès le montage du marché**

Bonnes pratiques :

- prévoir un marché de base et une option pour parer aux éventuelles difficultés (manque d'offres, coûts trop importants, non obtention d'ATEx B, etc.) ;
- en marchés publics : demander des réponses en coût global ;
- encadrer les marchés via des labels pour garantir un approvisionnement local.

« Dans le cadre d'une conception-réalisation, l'entreprise générale rédige le CCTP et consulte ensuite les fournisseurs. Le maître d'ouvrage a moins de visibilité sur les prix des matériaux et des équipements, il maitrise le montant total du lot, moins les détails. »

GrandLyon Habitat

Dans le cas d'un marché de conception-réalisation, il faut noter que le maître d'ouvrage perd en visibilité sur le détail des matériaux et équipements mis en œuvre.

→ **Accroitre la vigilance lors de la mise en œuvre et le suivi de chantier**

L'organisation du chantier va demander une attention particulière aux interfaces entre corps de métiers. Une mixité de matériaux accroit le nombre d'intervenants sur le chantier avec l'apparition de nouveaux corps d'état. D'un

« Les acteurs de la filière béton ne sont pas familiarisés avec des mises en œuvre complexifiées par une multiplicité de matériaux. Ils ont par exemple des seuils de tolérance plus élevés que pour la construction bois. L'organisation et la sécurisation du chantier soulèvent de nombreuses questions. Il s'agit de savoir gérer les interfaces entre béton et FOB par exemple. »

Spirit

corps d'état à l'autre, les pratiques peuvent différer et les seuils de tolérance ne sont pas les mêmes.
D'autres modèles d'organisation du chantier sont à étudier.

Une recommandation pour permettre un bon suivi du chantier est de confier la maîtrise d'œuvre exécution au concepteur du projet. Il sera plus à même de maîtriser les sujets qu'il aura développés dans sa mission de conception.

Un enjeu sur ce type de chantier est également la maîtrise des risques liés à l'humidité et à l'incendie.

Focus sur la préfabrication

Plusieurs projets intègrent de la préfabrication, qui présente de nombreux atouts :

- → Chantier propre et à faible nuisance (rapidité de mise en œuvre, filière sèche…), d'où un process particulièrement intéressant en site contraint/urbain
- → Qualité de la réalisation
- → Anticipation des passages de réseaux et meilleure gestion de l'étanchéité à l'air et à l'eau des modules (vigilance à observer aux interfaces bois - gros œuvre)
- → Filière sèche
- → Meilleure gestion des aléas climatiques
- → Pénibilité moindre pour les compagnons
- → Un temps plus long de préparation et de préfabrication compensé par la rapidité de pose

Il est nécessaire d'être vigilant à la protection à l'exposition à l'eau lors du transport et du stockage de ces matériaux (caisson bois, bloc de chanvre, BTC…) et lors de la mise en œuvre. Pour les caissons bois, une contrainte porte sur la manutention des caissons : leur volume nécessite un espace de stockage important et leur poids nécessite un levage mécanisé.

« Nous préconisons de pousser la préfabrication jusqu'au bout, avec un allotissement comprenant un lot clos-couvert qui est une bonne solution pour garantir la qualité de la réalisation. Avec des corps d'état séparés, un lot bois-paille distinct du lot menuiserie par exemple, l'intérêt de la préfabrication se perd. »

GrandLyon Habitat

« Avec les matériaux biosourcés, il faut être particulièrement vigilant à ne pas créer de contre-références, qui auraient pour conséquence de susciter de la méfiance de la part des maîtres d'ouvrages et donc de ralentir la filière.

La préfabrication a l'intérêt de limiter les temps de stockage tout en ayant des produits pré-protégés, comme c'est le cas pour les COB. Les caissons sont en effet livrés déjà protégés (la paille est « enfermée ») et ils sont installés rapidement. Le chantier est par conséquent très propre et les pare-pluie déjà en place permettent de protéger les murs de l'humidité en cas d'intempéries.

La préfabrication permet également de limiter les risques d'incendie sur le chantier.

Toutefois, sur le sujet de l'étanchéité à l'air, nous constatons toujours des difficultés sur certains chantiers liées aux écarts de tolérance entre maçonnerie et bois (problèmes de communication, de supports non systématiquement réceptionnés, de pose parfois peu soignées….) »

Etamine

Au sujet de l'allotissement, une recommandation est de prévoir un lot clos-couvert pour bénéficier au maximum des avantages de la préfabrication.

Figure 6 : Fabrication et mise en œuvre de panneaux préfabriqués en bois-paille sur le collège République Katia Krafft à Vénissieux © photos 1 et 2 : OBM © photo 3 : Jonathan Letoublon

Pierre structurelle

POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS

Ces points sont complémentaires de ceux listés dans le chapitre « Enseignements transversaux ».

Figure 7 : Immeuble mixte Saint-Clair Caluire-et-Cuire © 11h45

Gestion de projet

Conception

- → Nécessité d'une bonne connaissance des carrières et d'échanger avec les fournisseurs en amont du projet
  - Bien connaître la pierre et son usage car coûts très hétérogènes selon la dureté de la pierre
  - Connaitre la disponibilité de leur ressource au moment du chantier (prévenir les carrières en amont du projet)
- → Temps de conception plus important, nécessitant de nombreux échanges entre architecte, maçon et carrière (plan de calepinage, adaptation de la conception à la ressource – ex : hauteur d'étage selon hauteur des blocs - d'où la nécessité de connaitre la pierre qui sera utilisée dans le projet, calculs structurels).
- → Nécessité de compétences (ou a minima d'une motivation forte) au sein de l'équipe de MOE.

Approvisionnement

- → Actuellement, peu de carrières en capacité de fournir des quantités importantes sur plusieurs chantiers à la fois (nota : une carrière produit la pierre un chantier après l'autre).
- → Coût peu compétitif de la pierre locale et tensions liées à l'exportation. Les carrières locales fournissent des éléments fins destinés à un usage de revêtement qui part à l'étranger à coûts élevés, ou du funéraire. L'enjeu est de convaincre les carrières de produire à nouveau des blocs de construction et de travailler avec syndicat des carrières pour faire baisser les prix.
- → Anticipation nécessaire du délai d'approvisionnement du chantier : prévoir 6 mois entre ordre de service de marché et pose de la première pierre.
- → Pour travailler avec la pierre locale, accepter parfois de décaler le chantier.
- → Importance de la valorisation de blocs déclassés pour un usage en « réemploi » et travail sur l'acceptabilité des blocs ayant des défauts esthétiques.
- → Approvisionnement fluvial représentant un surcoût important.

Chantier

- → Préfabrication facilitant le chantier (découpe de tous les éléments en carrière) : chantier plus rapide avec moins de nuisance.
- → Vigilance sur la gestion de l'humidité pour la réalisation des lits de chaux.
- → Mise en œuvre relativement aisée : ce type de chantier pouvant intéresser toute entreprise de maçonnerie traditionnelle équipée d'une grue, sans prérequis d'une expérience préalable dans la pierre.

Sélection de textes normatifs évoqués à travers les entretiens

Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une vision du contexte normatif dans lequel les opération analysées ont été réalisées (rappel : entretiens réalisés de mars à septembre 2024). Certains textes sont donnés à titre indicatif et ne sont plus en vigueur (ATec et ATEx notamment).

DTU (Documents Techniques Unifiés) :

- → NF DTU 20.1 Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs
- → NF DTU 40.11 Couverture en ardoise (marchés privés)
- → NF DTU 52.1 Revêtement de sols scellés
- → NF DTU 52.2 Pose collée des revêtements céramiques et assimilés - pierre naturelle
- → NF DTU 55.2 Revêtements muraux attachés en pierre mince

Voir détail des normes des produits et de spécification et des normes de mises en œuvre applicables à la pierre dans le Livret pierre (voir ci-dessous).

Construction en pierre massive encadrée par le DTU 20.1 :

« Nous n'avons jamais besoin de passer par une ATEx avec la pierre. L'utilisation de DTU 20.1 nous permet d'être toujours en technique courante. Ce DTU concerne les ouvrages en maçonnerie de petits éléments, mais il permet de dialoguer avec le bureau de contrôle afin de construire avec de la pierre massive de grande dimension »

Perraudin

Point spécifique sur l'Eurocode :

« Il y a aujourd'hui une nécessité de développer l'article de l'Eurocode pour la construction en pierre massive, car actuellement, celui-ci renvoie simplement aux règles de calcul de la maçonnerie par petits éléments. Cela est très défavorable et ne permet pas l'utilisation de cette ressource en utilisant les pleines caractéristiques mécaniques. La conséquence est l'utilisation de pierres surdimensionnées. »

Richard Construction

A consulter en complément

+ Consultez le livret pierre

CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES

Des bureaux en pierre adossés à un bâtiment d'activité, c'est possible !

Bureaux et entrepôt Hydroscand – Genas

Denys Léger, président, Archigroup

« La volumétrie simple du projet (R+1) a rendu la pierre pertinente, avec une trame de bureaux (2,7 m) adaptée à la largeur de la pierre (90 cm). La peur de l'innovation est rapidement tombée. En effet, le contractant général travaillait régulièrement avec l'entreprise de maçonnerie Richard Construction qui avait déjà construit en pierre. Nous avons ainsi dessiné un bâtiment simple mais élégant.

Nous avons cherché une pierre locale, pas trop dure ni trop coûteuse, ce qui nous a conduit à la pierre de Vers dans le Roussillon (pierre calcaire de couleur jaune à ocre, taille : 90 cmx1,8 mx0,3 cm).

Ce projet a nécessité des échanges accrus avec le maçon et la carrière pour que les blocs répondent aux critères techniques (études à anticiper). L'immeuble a été dessiné en fonction des blocs de pierre tel un « jeu de lego ». Nous avons dû nous adapter à la pierre (qualité, tenue structurelle, couleur…), par exemple, la pierre n'étant pas assez dure pour travailler en compression, cela nous a obligé à l'utiliser dans l'autre sens et à la couper en deux. Cela permet d'avoir une vraie attention à la matière et de limiter les chutes.

Réaliser un chantier en pierre nécessite une réelle anticipation (6 mois sont nécessaires entre la commande de la pierre et sa livraison sur chantier).

Sur le chantier, la pierre est déplaçable grâce à des pinces et ne nécessite donc pas d'engins exceptionnels. Les compagnons étaient heureux de réaliser un projet différent, joli car mettant en œuvre un matériau de qualité.

Du point de vue de la gestion de l'humidité, il n'était pas possible de travailler sous la pluie du fait de la mise en place des lits de chaux.

A l'avenir nous souhaitons à nouveau construire en pierre, en allant sur des projets plus ambitieux (mais de forme simple), par exemple en intégrant un plancher bois.»

Marion Dupré, directrice de projets, Ingégroup

« La pierre permet de remplir plusieurs fonctions (structurelle, parement extérieur) et donc de limiter les couches de matériaux. Il a quand même été nécessaire de mettre en place un doublage intérieur pour assurer l'isolation nécessaire vis-à-vis de la réglementation thermique et conserver l'aspect pierre extérieur. Néanmoins, le cadre réglementaire et normatif ne tient pas suffisamment compte de l'inertie de ce matériau et du lien avec le confort d'été, et ne permet pas de valoriser pleinement ces propriétés en plus de son faible impact carbone. L'usage de blocs de pierre de grande taille permettra leur réemployabilité ultérieure.

Figure 8 : Photos de chantier (crédit Archigroup)

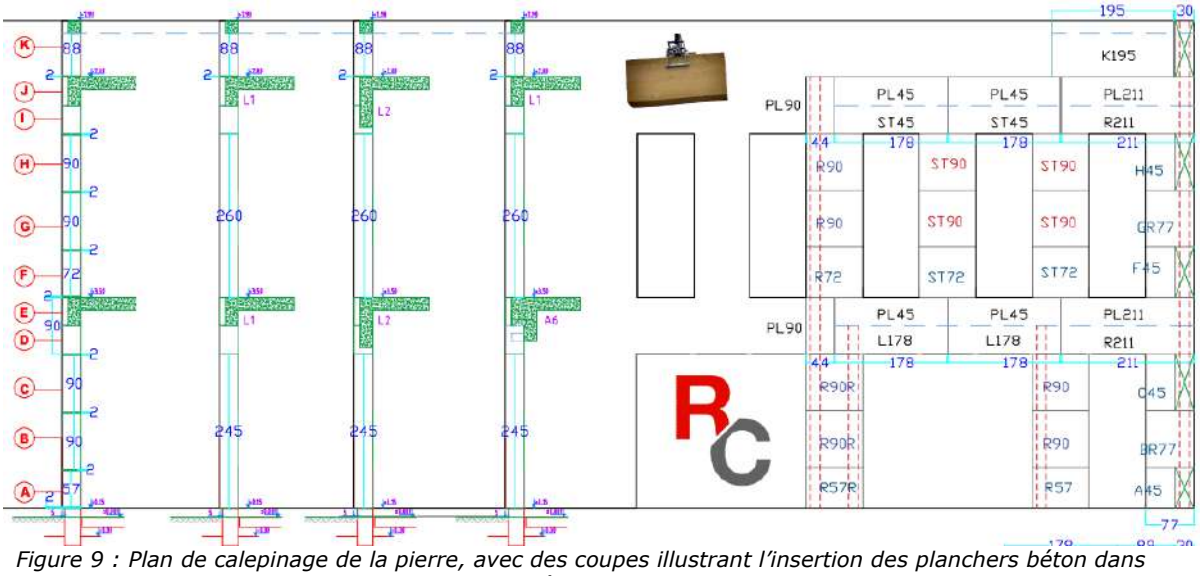


Figure 9 : Plan de calepinage de la pierre, avec des coupes illustrant l'insertion des planchers béton dans les murs pierre (crédit Richard Construction)

+ En savoir plus : fiche opération

Conception d'une opération de logements collectifs basée sur la ressource et ses caractéristiques propres

Le Cèdre - Lyon 3

Nobouko Nansenet, architecte, Wyswyg

« La conception architecturale d'un projet doit organiser de nombreux paramètres. Le projet du Cèdre n'a pas fait exception : un contexte urbain de maisons de ville dense, un jardin à reconstruire en cœur d'îlot autour d'un cèdre à préserver, un tènement de petite surface, des accès limités, un programme de logements spécifique, etc. Quel que soit le projet qui nous est confié, nous cherchons à réaliser une architecture juste et pérenne, ce qui passe par la conception d'une structure architecturale précise et maîtrisée. Le choix de la pierre - comme de n'importe quel autre matériau - impose une bonne connaissance des caractéristiques et des logiques structurelles qui peuvent en découler. Comprendre les étapes qui vont du gisement au chantier participe aussi à rendre faisable un projet en pierre.

Ici, nous avons une nouvelle fois fait appel à la pierre de Vers-Pont-du-Gard dont les caractéristiques permettent de rationaliser les coûts (un gisement homogène, des dimensions dites « standard », limitation des chutes dans le calepinage, etc.). L'ensemble de ces paramètres fixes ou ajustables connus au début de la conception permet d'éviter des choix coûteux.

Comme toute structure, l'ajustement des principes porteurs (horizontaux et verticaux) et de la trame de construction à partir des capacités des matériaux retenus permet de régler les portées et les pas d'étage de manière rationnelle. L'écriture architecturale qui en résulte est nécessairement moins bavarde, plus sobre. »

Figure 10 - Axonométrie d'ensemble © Wyswyg

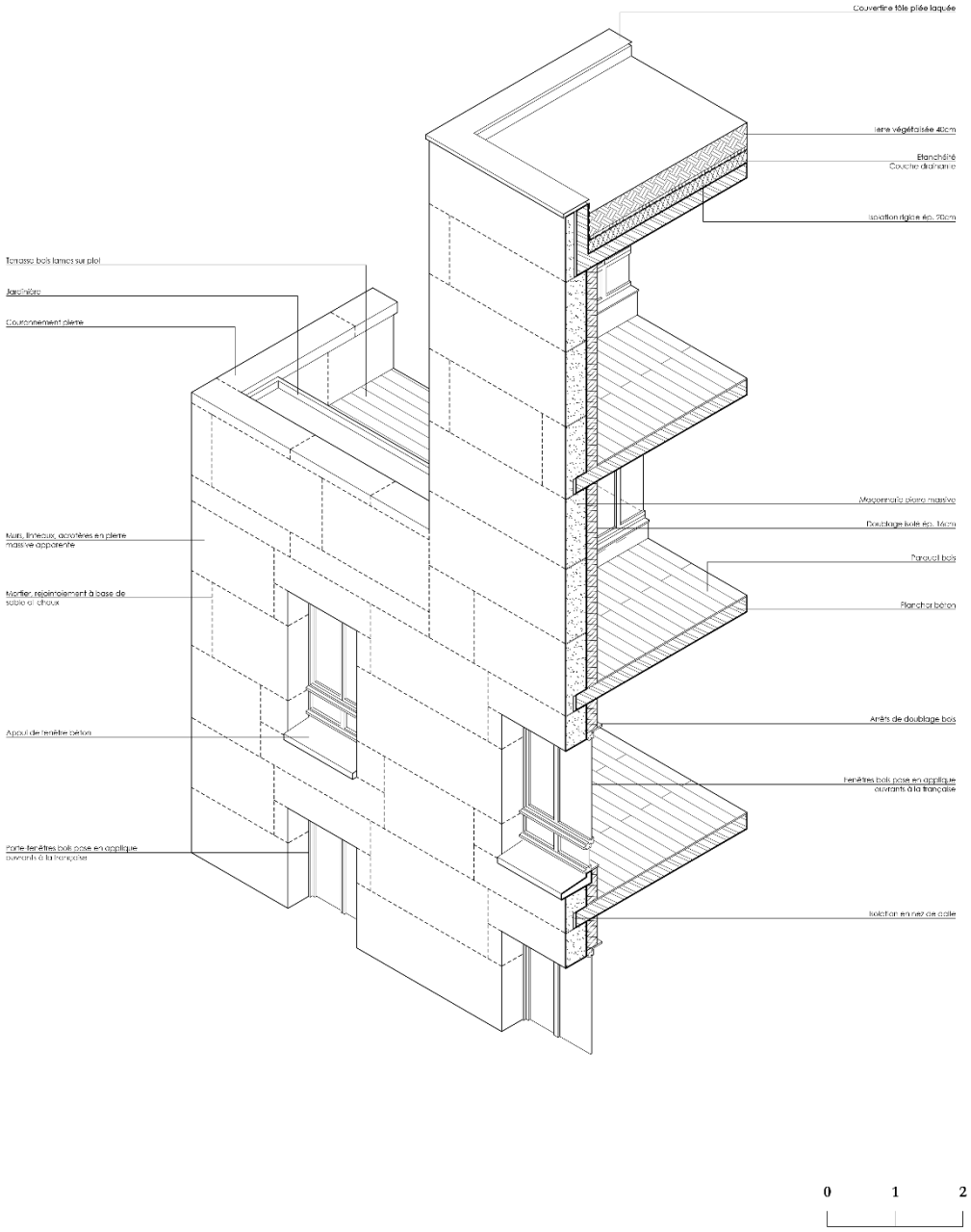


Figure 11 - Détail de calepinage en pierre massive © Wyswyg

+ En savoir plus : fiche opération

Ossature bois (mur/façade)

POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS

Ces points sont complémentaires de ceux listés dans le chapitre « Enseignements transversaux ».

Gestion de projet

Globalement, peu de points de vigilance ou bonnes pratiques ont été évoqués, la construction à ossature bois étant une technique maîtrisée par les acteurs interviewés. Seuls quelques points spécifiques ont été remontés.

Conception

- → Anticipation des portées et conception selon les trames adaptées afin d'optimiser la structure et de privilégier le bois massif
- → Vigilance sur les interfaces entre les gros œuvre/maçonnerie et le lot construction bois car les seuils de tolérance ne sont pas les mêmes d'un corps d'état à l'autre : plus d'exigence pour la construction bois que pour la construction béton
- → Prise en compte de la sécurité incendie qui peut être impactante pour le projet, selon sa typologie et sa classification (réglementation, instructions techniques, doctrines et avis des pompiers, etc.) :
  - Mesures requises impactant l'économie de projet
  - Ajouts de couches et de matière alourdissant le poids carbone du projet
  - Choix du type d'isolant en remplissage d'ossature contraint.
- → Construction bois avec remplissage paille :
  - Association des matériaux bois et paille particulièrement intéressante pour le confort d'été
  - Technique particulièrement adaptée pour la réalisation de gymnases (cadre réglementaire facilitant pour les équipements de plain-pied, volumétrie simple, hauteur libre et grande portée des structures) (voir p.40)
  - Nécessité de partir des contraintes des dimensions des bottes de paille et de l'ossature afin de définir une ou plusieurs trames de façades avec lesquelles travailler
  - Formation Pro-Paille représentant un réel atout

Approvisionnement

- → Approvisionnement à anticiper si volumes de bois importants
- → Pour le bois-paille : une filière paille qui se structure, avec de réelles capacités de préfabrication de caissons bois paille (ex : Manufacture Bois Paille, SDCC), mais des difficultés d'approvisionnement pour des projets volumineux qui subsistent
- → Marché allemand en concurrence, filières allemandes plus développées
- → Enjeu de massification du bois local et des bois dépérissants (épicéa scolyté, sapin sec, etc…). Points de vigilance en bois local : pour concevoir un projet en bois local, privilégier une trame structurelle qui permet l'usage de bois massifs. Le bois local est facilité si la MOA est une commune forestière. Attention aux incidences sur le planning : concevoir avec du bois local nécessite de bien

anticiper les approvisionnements, l'équipe de MOE doit s'emparer du sujet très rapidement au cours des études.

Chantier

- → Préfabrication permettant un chantier facilité et une grande qualité de réalisation, bien qu'une vigilance reste à observer sur la gestion des interfaces entre les lots maçonnerie/gros œuvre et le lot construction bois (voir p.26)
- → Organisation du chantier différente par rapport à la construction béton, par exemple : protection du bois au fil du chantier, gestion de la grue entre le lot gros œuvre et le lot ossature/façades bois, gestion des interfaces GO / lots bois
- → Allotissement en clos couvert favorable pour avoir des modules complets préfabriqués
- → Nécessité d'une bonne collaboration entre entreprises des lots maçonnerie/gros œuvre et lot charpente
- → Actuellement, manque d'entreprises générales compétentes à la fois sur le bois et le béton (entreprise générale faisant appel à un sous-traitant, ou réponse en co-traitance de deux entreprises).

Sélection de textes normatifs évoqués à travers les entretiens

Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une vision du contexte normatif dans lequel les opérations analysées ont été réalisées (rappel : entretiens réalisés de mars à septembre 2024). Certains textes sont donnés à titre indicatif et ne sont plus en vigueur (ATec et ATEx notamment).

DTU (Documents Techniques Unifiés) :

- → NF DTU 31.1 Charpente en bois
- → NF DTU 31.2 Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois
- → NF DTU 31.4 Façades à ossature bois
- → NF DTU 41.2 Revêtements extérieurs en bois

Règles professionnelles :

- → Les Règles professionnelles de construction en paille CP2012 – remplissage isolant et support d'enduit – constituent le cadre de référence pour l'utilisation du matériau paille de blé comme isolant en remplissage d'ossature bois et support d'enduit
  Domaine d'application : France métropolitaine, constructions dont plancher bas du dernier niveau < 8 m (R+2), locaux de faible ou moyenne hygrométrie https://www.rfcp.fr/les-regles-professionnelles/

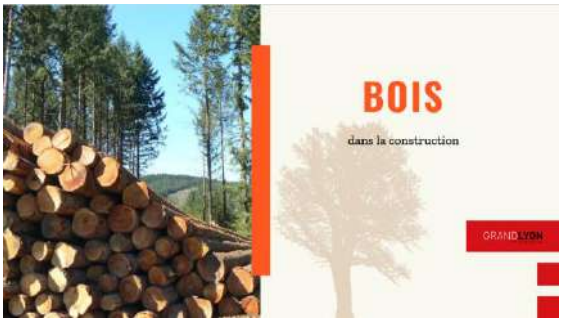
Appréciations Techniques d'Expérimentation :

- → Exemple de deux ATEx de cas A, STO et Icade promotion
  Système d'isolation thermique extérieure par enduit sur laine de roche « StoTherm Mineral COB » sur :
  - supports COB/CLT – 2948_V2 – validité du 07/09/2024 au 07/09/2027
  - supports FOB – 3022_V2 – validité du 14/02/2023 au 14/02/2026

  Domaine d'application : bâtiments d'habitation jusqu'à la 3ème famille, bâtiments de bureaux et établissement recevant du public de hauteur de plancher bas du dernier niveau à 28 m

Voir autres normes applicables selon produits bois dans le Livret bois.

A consulter en complément



+ Consultez les livrets bois et paille

CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES

Construction bois-paille (façade et toiture) en zone PPRT : c'est possible !

Groupe scolaire du bois du Fort – Feyzin

Emmanuel Ganzhorn, architecte – Lieux FAUVES

« Le programme de la Ville de Feyzin imposait de construire en matériaux biosourcé. Nous avons donc choisi de répondre avec un mode constructif bois-paille, technique que nous avions déjà éprouvée sur d'autres groupes scolaires. La spécificité était ici que nous avons fait le choix de ce mode constructif également en toiture.

Le principal challenge de ce projet reste le zonage PPRT. Malgré la prise en compte du règlement en avant-projet, le permis de construire est refusé par manque d'étude de vulnérabilité au risque de surpression (zone PPRT) par un bureau spécialisé. On nous indique alors devoir contacter le SPAR (Service Planification Aménagement Risques) pour un accompagnement dans ces démarches. Celui-ci indique alors que si le règlement du PPRT disponible en ligne a bien été respecté, les cahiers des charges « constructifs » (résistance des structures, matériaux autorisés, systèmes de fixations, dimensions et natures des vitrages, etc.) ne sont transmis que sur demande, du fait du caractère sensible de ces informations. Toute la conception du projet semble alors être remise en question.

A ceci s'ajoute que ces textes ne prévoient pas d'autres modes constructifs que le béton et l'acier, aboutissant en première lecture à un avis défavorable du bureau d'étude de risque (Véritas). Les solutions proposées à ce stade orientaient vers une toiture béton ou des filets acier tendus au-dessus des élèves dans l'ensemble des locaux, aux antipodes des objectifs du projet.

La maîtrise d'œuvre et particulièrement le bureau d'étude structure bois (Arborescence) a donc entreprit de justifier par le calcul que ce bâtiment bois-paille se comportait aussi bien qu'une construction béton sous l'effet de souffle, c'est-à-dire sans risque d'écroulement ou de chute d'éléments en cas de surpression. Il a ensuite été nécessaire de solliciter les compétences et l'expertise de l'entreprise de charpente FAVRAT qui a accepté de travailler en dehors de toutes habitudes et de relever un nouveau défi pour que le projet conserve son cap.

A titre d'exemple, il était nécessaire de justifier que le pignon pouvait résister à une poussée d'1,3 t/m², soit une vraie interrogation et un réel défi pour la structure bois de ce type de construction. La charpente, conçue en compression, ne travaillait plus qu'en traction. Il a ainsi été nécessaire d'ancrer les bois, avec des connecteurs en pied de caissons quasiment tous les mètres et plus globalement un grand nombre de ferrures acier supplémentaire pour liaisonner l'ensemble. Enfin, la dalle béton du RDC a dû être alourdie pour ne pas être soulevée sous l'effet du souffle par la structure devenue extrêmement rigide.

Tout au long de ces études, la compacité et l'implantation du bâtiment perpendiculairement à la source de l'explosion ont été bénéfiques pour le projet, en réduisant les faces exposées. Une rotation de seulement quelques degrés pour s'aligner par exemple au bois plutôt qu'à la rue aurait poussé la conception dans une direction toute autre.

Finalement, la contrainte PPRT représente sur ce projet un surcoût d'environ 3% du budget (surcoût porté par les deux lots structure).

Dans le même temps, les études géotechniques annoncent un sol étant proche de l'imperméable et surtout très peu porteur, nécessitant un renforcement lourd par colonnes ballastées. Ayant pour objectif une construction décarbonée, l'idée de polluer le sol avec des m3 de béton ne nous convenait guère. Nous avons donc fait le choix du géocompactage, rendu possible par le mode constructif très léger. Cette technique ne modifie pas la composition du sol, et s'est ici avérée plus rapide et moins coûteuse que la première solution.

Enfin, l'enjeu fort du chantier concernait la gestion de l'humidité : la construction bois paille impose un ordonnancement précis et la participation de tous pour éviter les désordres. Ainsi, chaque caisson bois/paille était livré étanche air/eau et posé dans la journée, avec un pare-pluie tiré systématiquement par-dessus. Le fait que le toit soit penté a aussi réduit fortement le risque d'infiltration d'eau en attendant la couverture. Ce process a été rendu possible par la préfabrication hors site, offrant une rapidité de chantier et des nuisances limitées par rapport au voisinage. »

Figure 12 : Chantier du groupe scolaire du Fort © Lieux FAUVES

Roger Garrivier, dirigeant - Manufacture Bois-Paille

« Ce chantier était un challenge pour nous vu la taille des caissons et leur poids de 2 tonnes chacun. De plus, il a fallu planifier très finement leur fabrication pour que le charpentier ne soit pas arrêté sur le chantier. L'essentiel de la paille que nous utilisons est cultivée et stockée à 10 km de notre usine de Villefranche. Nos murs et caissons de toiture en ossature bois sont soigneusement protégés pour assurer une bonne étanchéité à la pluie et donc protéger la paille.

L'enjeu des prochaines années sera de pouvoir répondre dans de bonnes conditions (qualité, pénibilité, capacité) au besoin de massification du bois-paille. A ce titre nous prévoyons de fabriquer 25 000 m² de murs bois-paille en 2025 grâce à notre presse unique spécialement conçue pour le remplissage par bottes de paille. Nos murs partent actuellement dans toute la France car la demande locale n'est pas suffisante. Mais cela est en train d'évoluer dans le bon sens. Nous espérons à terme pouvoir faire du circuit court tant sur l'amont que sur l'aval. »

Vincent Boulet, Chargé de mission risques technologiques – DDT69

« Les guides techniques développés par le ministère, notamment pour la construction en zone de surpression, ne prévoient pas la construction avec les matériaux envisagés pour le projet (ici le mode constructif bois-paille, technique déjà éprouvée sur d'autres groupes scolaires). Il ne l'interdit pas non plus. Un bureau d'étude spécialisé sur le risque industriel a calculé les résistances nécessaires pour l'intégrer dans la conception du projet.

Dans les zones où la destination n'est pas interdite, ce type de projet est donc réalisable, en respectant les conditions posées par chaque PPRT, le plus souvent pour ne pas accroître voire diminuer la vulnérabilité au risque accidentel. Il serait plus complexe en zone d'intensité supérieure des effets de surpression, voir en zone d'aléa thermique. »

Nicolas Desorgeris, Responsable de l'unité technique - Ville de Feyzin

« Pour de futurs projets, nous retenons les enseignements suivants :

- *nous entourer des bonnes personnes et monter nos marchés pour que les entreprises disposent de leur propre bureau étude ;*
- *prendre en compte les difficultés liées au PPRT qui nous a fait dépenser de l'énergie et augmenter la facture du projet ;*
- *nous renseigner sur le bureau de contrôle et de sa compétence sur les bâtiments ossatures bois et qu'il puisse répondre aux attentes du PPRT et cela avant le dépôt du PC. »*

Figure 13 : Groupe scolaire vu depuis la cour de récréation © Lieux FAUVES

+ En savoir plus (démarche globale de qualité environnementale, témoignages complets, photos du chantier et du projet livré)

Gestion des ponts thermiques en COB avec remplissage paille

Collège République Katia Krafft – Vénissieux

Alexandre Joët, chef de projet – Etamine

« Le collège Katia Krafft intègre très massivement les matériaux biosourcés. Ceux-ci participent grandement à l'atteinte du seuil 2025 de la RE2020 sur la globalité du projet (avec même une marge de 30% sur le partie enseignement !) et un total de plus 150 kg de matériaux biosourcés par m²SDP. Cela est dû en premier lieu aux planchers et murs en bois massifs (lamellé-collé ou CLT) et aux bottes de paille.

Grâce à la reconnaissance des règles professionnelles de la construction paille (RFCP janvier 2012), la mise en œuvre de la paille au sein d'ossatures bois est devenue "technique courante". Les ERP peuvent ainsi être construits en ossature ou charpente bois (soumises à DTU) isolées en paille de blé. Il existe en revanche des limitations, notamment :

- *les locaux doivent être à faible ou moyenne hygrométrie ;*
- *le dernier plancher doit être à moins de 8 mètres de hauteur (donc R+2 maximum).*

Ainsi, sur le collège Katia Krafft, les voiles béton se sont imposés pour les parties techniques (locaux techniques, escaliers, cages d'ascenseur…) ou encore les cuisines du restaurant scolaire.

Des ponts thermiques ont été engendrés par le mode constructif COB et par le fait que la trame de façade n'a pas été complétement dessinée en prenant en compte les dimensions d'une botte de paille standard.

Nous en avons tiré les enseignements suivants, à intégrer dès l'esquisse :

- *Partir des contraintes des dimensions des bottes de paille et de l'ossature afin de définir une ou plusieurs trames de façades avec lesquelles travailler pour dessiner des ouvertures et positionner les composants de la structure principale. Pour cela, il est possible de s'appuyer sur la documentation fournie par les constructeurs afin d'aider à la conception pour les architectes.*
- *Privilégier la FOB, afin de garder les éléments structurels à l'intérieur de l'enveloppe et non intégrés à celle-ci. »*

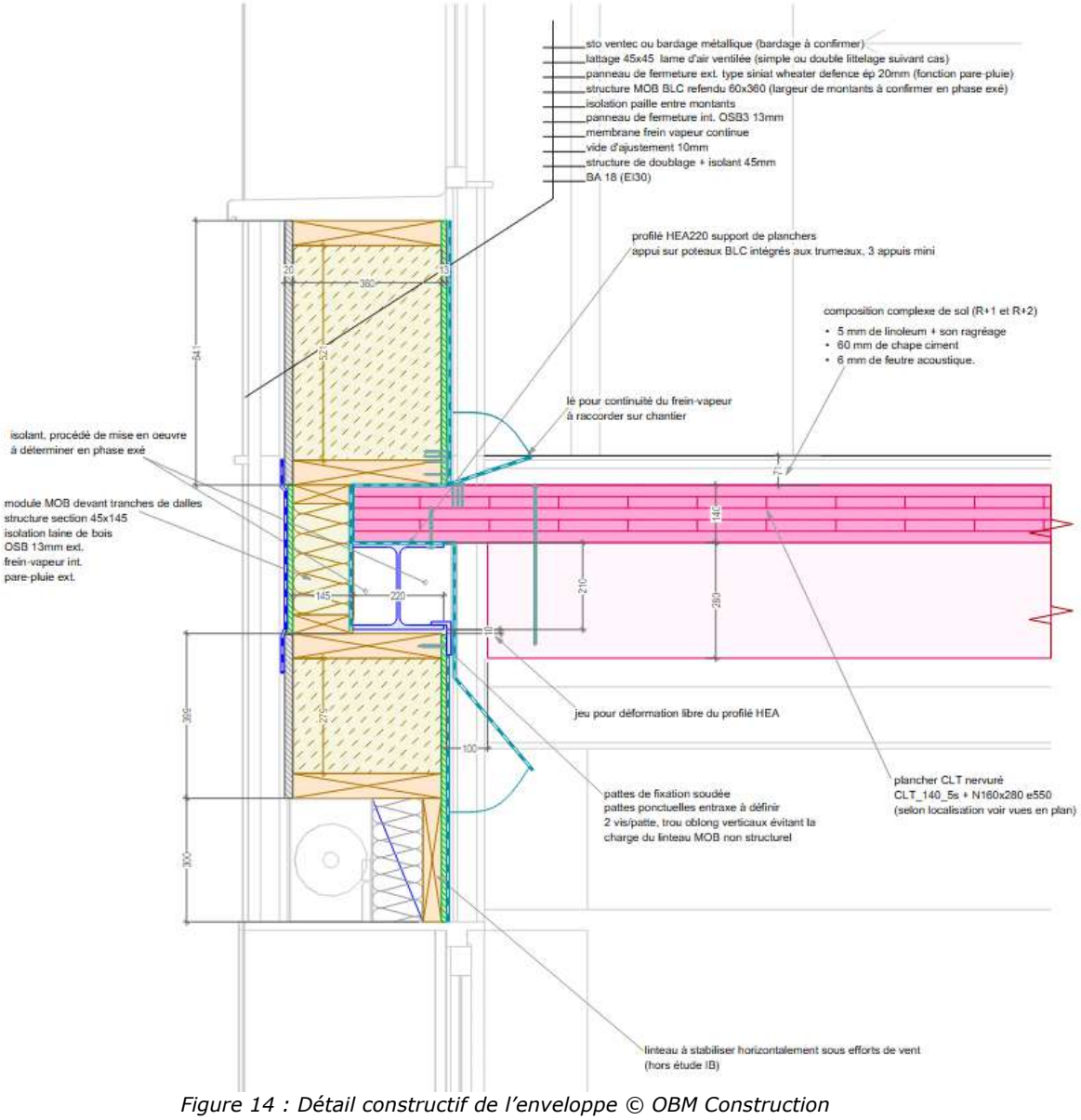


Figure 14 : Détail constructif de l'enveloppe © OBM Construction

Construction bois-paille de gymnases : une solution constructive particulièrement adaptée !

Complexe sportif Mohamed Ali - Saint-Fons

Sarah Viricel, architecte, directrice Générale, responsable concours et développement – Lieux FAUVES

« La construction bois-paille est particulièrement adaptée pour la réalisation de gymnases du fait d'un cadre réglementaire facilitant pour les équipements de plain-pied. La volumétrie simple, la hauteur libre et la grande portée des structures sont des atouts pour la construction bois. Dans ces ouvrages, la section des porteurs verticaux impliquée par leur élancement, est parfaitement adéquate à l'intégration de caissons isolants en botte de paille (37cm). L'épaisseur des complexes de murs n'est pas contraignante pour l'équipement. Notre première expérience Bois Paille fut le gymnase Alice Milliat avec DUA et Arborescence. Depuis nous avons réitéré ce mode constructif pour huit autres équipements sportifs dont quatre chantiers en cours à Besançon, Ingré, Vetraz Monthoux et Bordeaux.

La préfabrication des caissons bois paille présente l'avantage de sécuriser la bonne étanchéité de l'enveloppe et de limiter les nuisances de chantier par la rapidité de mise en œuvre. Une vigilance accrue doit toutefois être portée à la protection contre l'exposition à l'eau lors du transport et du stockage des caissons. Lors de la mise en œuvre, la protection en tête de mur et au raccord avec la toiture doit être efficace. L'enchainement de la couverture et la connexion des descentes d'eau pluviales doivent être rapide pour éviter toute infiltration qui pourrait nuire à la paille.

Les contraintes liés à ce procédé résident dans la manutention des caissons : leur volume nécessite un espace de stockage important et leur poids nécessite un levage mécanisé.

En terme de délai, le temps plus long de préparation et de préfabrication (hors site) est largement compensé par la rapidité de pose. »

Figure 4 : Préfabrication de caissons bois-paille pour le complexe sportif Mohamed Ali – Saint-Fons © Lieux FAUVES

1. Couvertine tôle alu
2. BARDAGE ACROTERE
   Plaque nervurée pose verticale
   Lattage vertical Ep. 27mm
3. Bande solin tôle alu
4. COUVERTURE
   - Etanchéité autoprotegée bicouche de type bicouche SBS autoadhésive de chez Siplast ou équivalent
   - Isolant rigide laine de roche 260mm
   - Pare vapeur
   - Bac acier perforé 110mm
5. LIS 01 GL24h 12/36
6. DOUBLAGE HAUT
   - BA18
   - LDR 80mm
   - Parevapeur
8. DOUBLAGE INT. MEDIAN
   - Lames de bois horizontales 40 x 22mm entraxe 60mm
   - Voile noir acoustique
   - LDR 100mm
   - Parevapeur
9. MOB
   - Laine de bois rigide Ep. 16mm
   - Ossature bois remplissage paille Ep. 380mm
   - OSB ou CTBX ep. 18mm
   - Frein vapeur hygro variable
10. BARDAGE
    - Bardage polycarbonate 16mm
    - Connecteur vertical aluminium 54x40mm
    - Contre lattage 40x60mm
    - Lattage 27x38mm
    - Pare pluie HPV

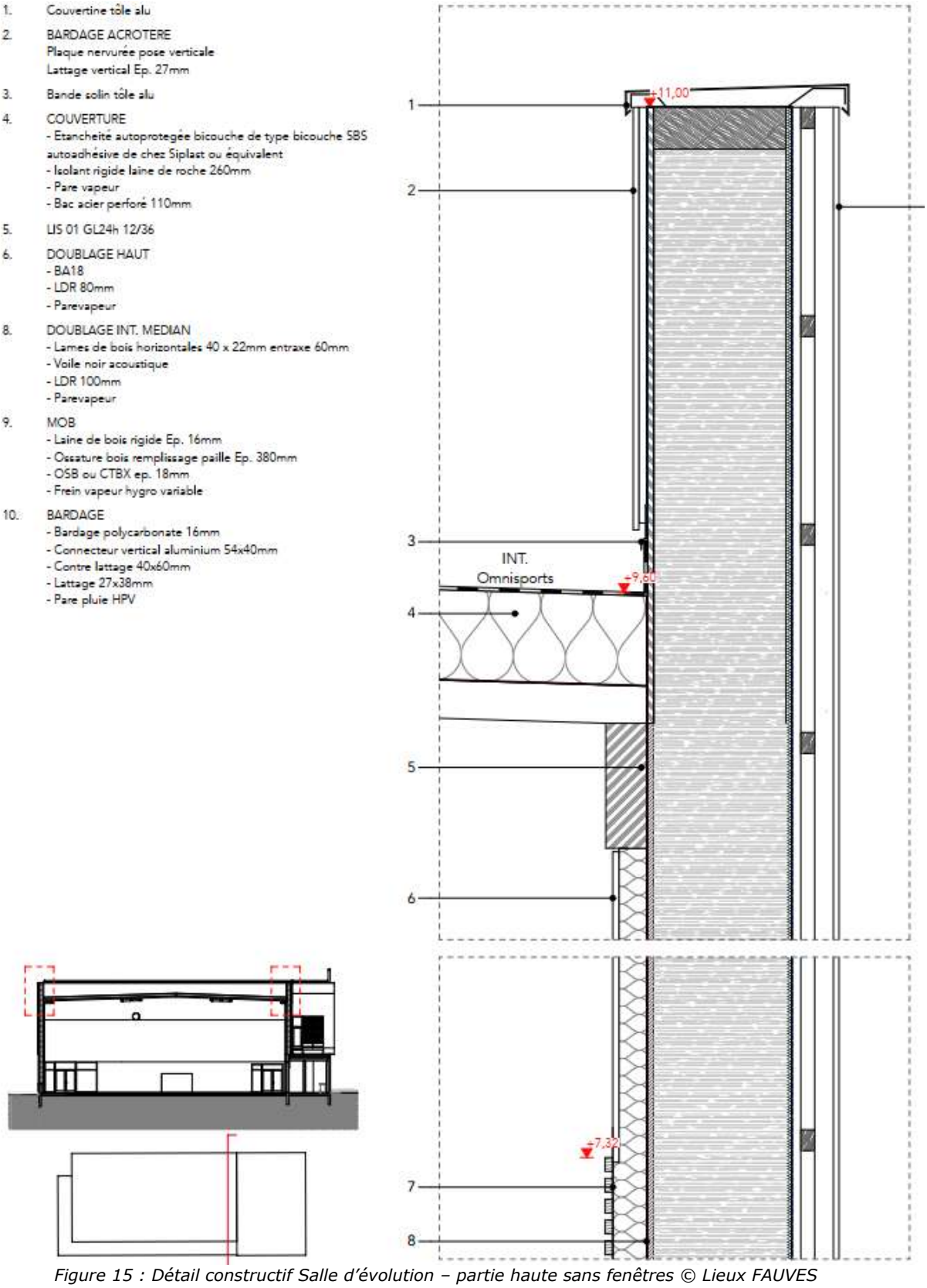


Figure 15 : Détail constructif Salle d'évolution – partie haute sans fenêtres © Lieux FAUVES

+ En savoir plus : fiche opération

Extension en murs ossature bois, remplissage chaux-chanvre et enduit à la chaux

Ecole Saint-Exupéry – Villeurbanne

Le projet consiste en l'extension de l'école pour ajouter une salle de classe, un dortoir, un bloc sanitaires et un local tisanerie.

Figure 16 : Extension en murs ossature bois, remplissage chaux-chanvre © Giaime Meloni

Le système constructif retenu, sur la proposition du MOE, est le suivant :

- Murs ossature bois + remplissage béton de chanvre dissimulé derrière une peau extérieure (enduit chaux-chanvre)
- Complexe de toiture en charpente bois : isolant laine de bois, laine de roche et panneau de fibres de bois
- Soubassements béton (technique bois/chaux/chanvre « n'aimant pas avoir les pieds dans l'eau »), isolé en intérieur par de la laine de bois et de la laine de roche.

Le doublage intérieur des soubassement béton permet de faire passer les fourreaux, d'encastrer les boitiers électriques… Les autres réseaux (env. 20%) passent dans le plafond. Des fourreaux sont présents dans les murs préfabriqués uniquement pour l'alimentation des volets électriques.

Les murs sont préfabriqués en atelier, afin de s'affranchir du temps de séchage du béton de chanvre sur chantier et pour limiter la pénibilité du travail des ouvriers. Sur ce projet, tous les murs étant différents, la pertinence de la préfabrication est néanmoins limitée.

Sur le chantier, l'étanchéité à l'air des murs est assurée par une projection en chaux-chanvre de 6 cm. Pour réduire les coût, il aurait été possible de ne projeter que les joints de panneaux puis de les enduire.

Parmi les points forts du projet :

- Sa rapidité : 9 mois de conception et 8 mois de chantier
- Une équipe de maîtrise d'œuvre restreinte mais très spécialisée
- La présence de l'architecte durant tout le chantier, permettant d'amener un rapport très différent avec les entreprises
- Un retour d'usage très satisfaisant confirmé par les enseignants : confort thermique d'été et hiver, acoustique.

Il est néanmoins constaté un nombre très faible de réponses aux consultations d'entreprises pour ce type de projet.

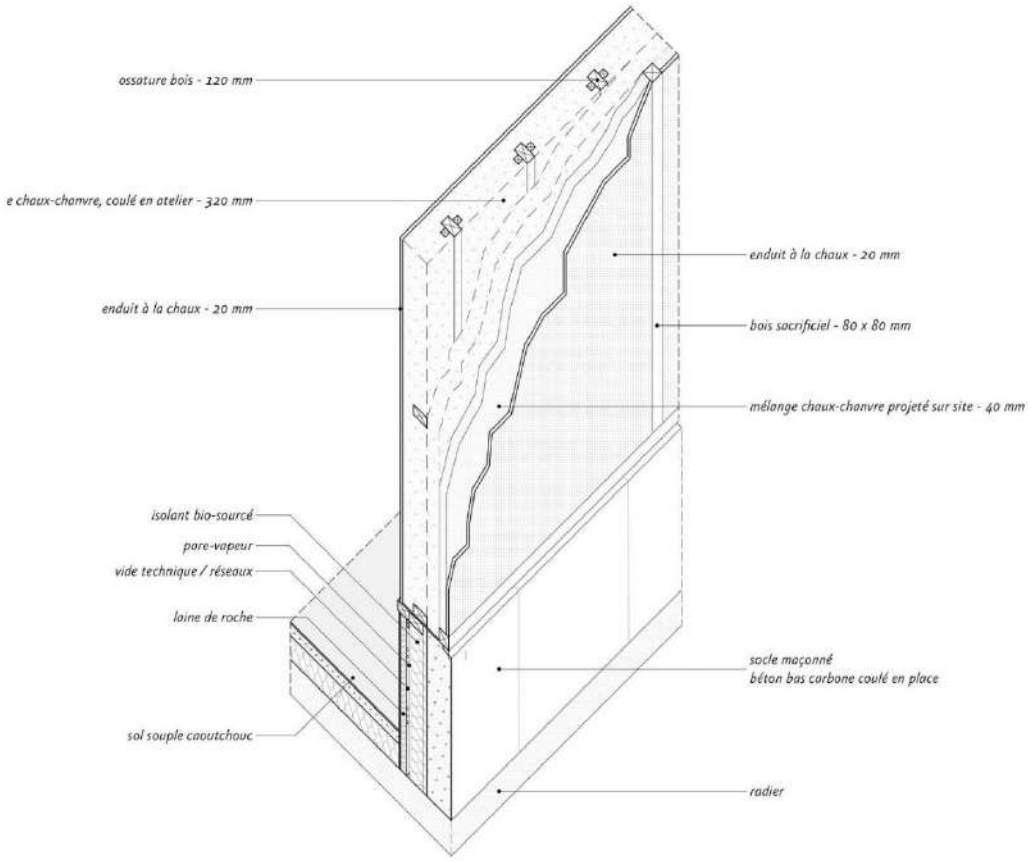


Figure 17 : Détail constructif © Commune

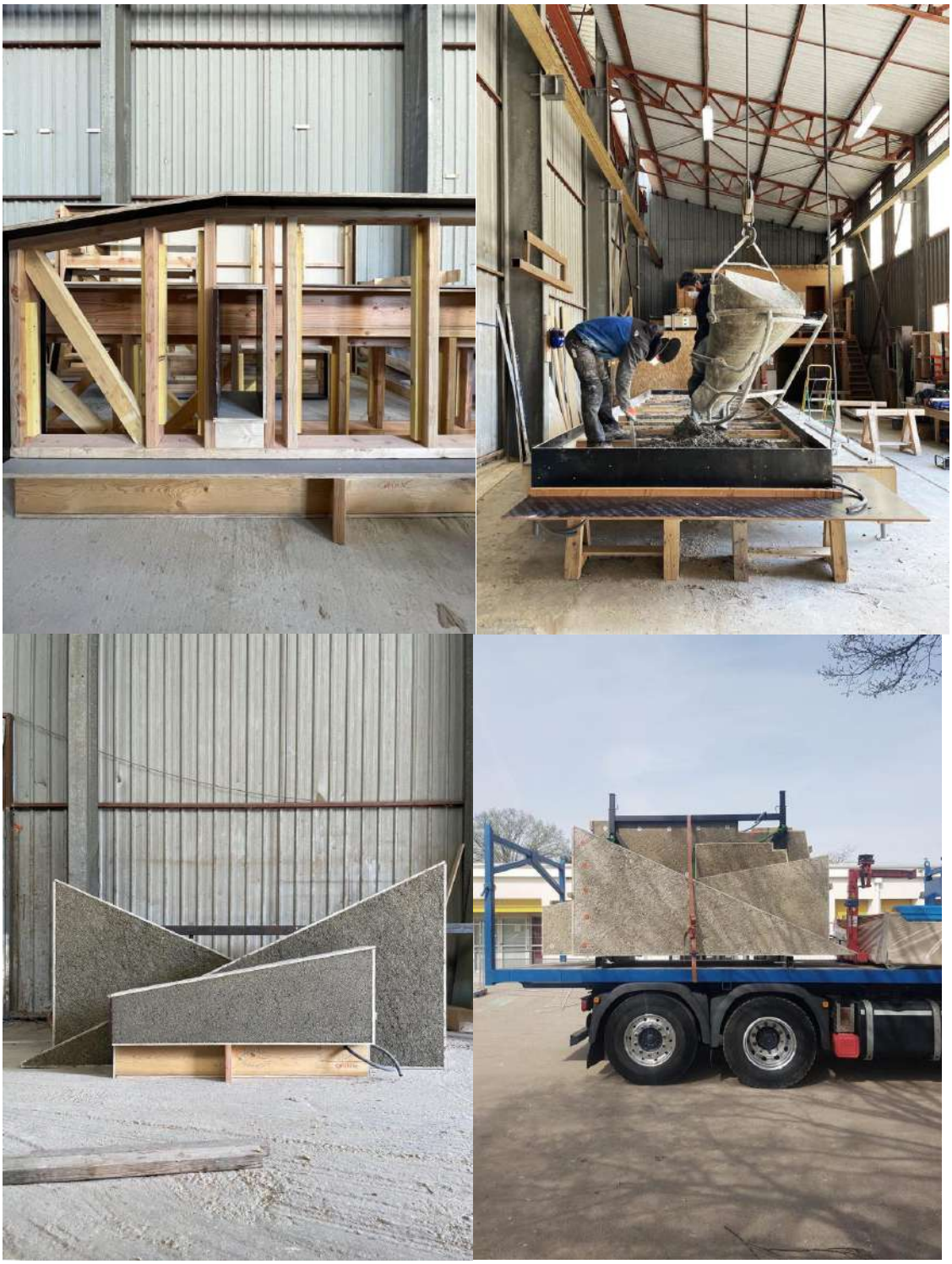


Figure 18 : Préfabrication en atelier et pose sur chantier © Giaime Melon et Commune

+ En savoir plus (détails constructifs, photos) : site internet de Commune

Bloc de béton de chanvre

POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS

Ces points sont complémentaires de ceux listés dans le chapitre « Enseignements transversaux ».

Les 3 projets intégrant des blocs de béton de chanvre ont eu recours au produit Biosys BCE de Vicat, bloc à emboitement à base de copeaux de chènevotte et d'un liant en ciment naturel prompt.

Gestion de projet

Conception :

- → Conception demandant de la rigueur et une bonne connaissance de la technique constructive : calepinage des blocs suivant les caractéristiques et contraintes du produit (dimensions, récurrence de chaînages verticaux et horizontaux, possibilités de découpes limitées, etc.)
- → Spécificités du matériau demandant une montée en compétence de l'ensemble des acteurs (architectes, bureaux d'études, etc.). A noter : des formations sont proposées par les fournisseurs
- → Des échanges renforcés entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre et les industriels développant ces nouveaux produits, pour trouver des solutions innovantes face aux contraintes spécifiques liées à cette technique émergente et mettre au point les détails du projet

Approvisionnement :

- → Sur les blocs de chanvre préfabriqués :
  - Le Biosys BCE est le premier produit français à avoir obtenu un Avis technique (voir ci-après)
  - Le Biosys BCE a permis de développer une filière locale, avec un site de production situé en Franche Comté
  - Autre producteur belge est positionné sur le marché : Isohemp, qui a une ATEx A (voir ci-après)

Figure 19 : Chantier de la maison de la Diversité à Lyon 4

Figure 20 - formation proposée par Vicat pour le Biosys BCE © JAA Architectes

« Ce temps de formation amont a permis d'identifier quelques points de vigilance, afin d'appréhender les différents blocs, leur mise en œuvre, les liaisons avec la structure et les menuiseries ainsi que d'affiner le calepinage, essentiel pour limiter les chutes et donc les coûts induits »
JAA Architectes

→ Sur la ressource chanvre :
  - Grande disponibilité à l'échelle du territoire français
  - Dans le monde agricole, plante présentant l'avantage de régénérer les sols en rotation de culture

Chantier :

→ Mise en œuvre des blocs exigeante :
  - Nécessité d'une manutention soignée en raison du caractère friable du matériau
  - Découpe possible avec une simple scie égoïne, mais qui demande d'avoir un soin particulier au regard de la friabilité du matériau
  - Souci de conserver la possibilité d'assemblage à sec par tenon mortaise (enjeu de réduire les chutes via un travail de calepinage à réaliser en conception)
  - Matériau davantage fragile et lourd si mouillé d'où la nécessité de le stocker à l'abri (ou de protéger la partie supérieure des palettes)

→ Entreprises devant donc être formées sur la pose des blocs (possibilité pour les entreprises de mettre en place des équipes spécialisées)

→ Intégration d'un volet insertion sur les chantiers permettant de développer ces nouveaux métiers

→ Mise en œuvre présentant l'avantage d'une pose sèche, avec un montage qui peut être très rapide quand les découpes sont limitées

→ Possibilité de réaliser une finition de façade assez simple, avec application d'un enduit extérieur tramé à la chaux assurant l'étanchéité à l'air et à l'eau des blocs

Sélection de textes normatifs évoqués à travers les entretiens

Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une vision du contexte normatif dans lequel les opération analysées ont été réalisées (rappel : entretiens réalisés de mars à septembre 2024). Certains textes sont donnés à titre indicatif et ne sont plus en vigueur (ATec et ATEx notamment).

Avis techniques :

→ ATec Biosys BCE – blocs de chanvre à emboitement : https://www.solution-Biosys BCE.fr/professionnels-de-la-construction/notre-documentation – validité du 30/08/2022 au 30/11/2023, prorogé au 30/11/2024.
Domaine d'application :
  - En porteur : bâtiments d'habitation de 1ère et de 2ème famille, de bâtiments relevant du Code du Travail et d'Etablissements Recevant du Public dans la limite de construction R+1 (hauteur d'étage ≤ 3,00 m) avec toiture légère
  - En non porteur : en remplissage ou en rénovation à condition de reproduire une structure poteau-poutre conforme à la norme NF EN 1992-1-1

Appréciations Techniques d'Expérimentation :

→ ATEx A de Isohemp – blocs en béton de chanvre associés à une structure porteuse de type poteaux-poutre en béton armé – validité du 11/12/2023 au 11/12/2025 : https://www.isohemp.com/sites/default/files/2024-06/ish_atex_3211-v1_hempro.pdf
Domaine d'application : murs de façade de bâtiments d'habitation de 1ère et de 2ème famille limité à R+2, d'Etablissement Recevant du Public de 5ème

catégorie (limité à R+2) et de 4ème catégorie dont le plancher bas du niveau haut est inférieur à 8 m et au maximum en R+1.

Règles professionnelles :
La mise en œuvre de blocs de béton de chanvre n'est à ce jour couverte par aucune règle professionnelle.
Cependant, la filière chanvre est en pleine évolution grâce à la mobilisation de ses acteurs, à l'image de la publication en juin 2024 d'une nouvelle version de Règles professionnelles pour la mise en œuvre d'ouvrages d'isolation de parois verticales (murs, doublages et cloisons) en béton de chanvre. Cette nouvelle version élargit le domaine d'application en ouvrant à de nouvelles typologies de bâtiments :

→ Règles professionnelles d'exécution de parois verticales (murs, cloisons et doublage) en béton de chanvre : https://www.construire-en-chanvre.fr/informations.
Domaine d'application : parois verticales conçues à base de béton de chanvre pour :
- Les bâtiments dont le plancher bas du niveau le plus haut est situé à 28 m maximum au-dessus du sol
- Les Établissements Recevant du Public (ERP) toutes catégories

A consulter en complément

+ Consultez le livret chanvre

CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES

Biosys BCE : les spécificités du produit

Maison de la Diversité à Lyon

Emilie Moissant, architecte – JAA Architectes

« Les blocs Biosys BCE de chez Vicat est un procédé constructif constitué de blocs de chanvre à emboîtement et d'une structure interne en béton armé, porteuse jusqu'au R+1. Au-delà, le procédé autoportant peut être également mis en œuvre en remplissage ; ce qui est le cas pour la Maison de la Diversité qui utilise les blocs Biosys BCE en remplissage de façade.

Les blocs à emboitement Biosys BCE étant un système d'assemblage à sec par tenon mortaise (de dimensions 60 cm de longueur x 30 cm de profondeur x 30,8 cm de hauteur), ils peuvent être uniquement découpés en deux en leur centre afin de conserver les assemblages. En hauteur, dans la même logique, les blocs ne peuvent pas être découpés et la semelle de départ de 10 cm en partie basse des murs, nécessaire à l'emboîtement du premier rang et à la garde d'eau, devra être prise en compte dans le calcul. Ainsi, le calepinage des blocs est déterminant pour les compositions de façades, comme pour les hauteurs de la construction, la dimension des ouvertures... En effet, la position des planchers notamment devra être calée sur un chaînage horizontal du Biosys BCE afin d'assurer la continuité structurelle de l'ouvrage.

L'emploi de ce procédé n'est donc pas sans conséquence. Il implique un vrai savoir-faire aussi bien en conception qu'en réalisation. En effet, sur les deux opérations que nous avons en Biosys BCE (Maison de la Diversité + Maisons individuelles à Saint Genis l'Argentière), le maçon désigné a été formé à la pose de blocs par Sigma Béton du groupe Vicat afin d'en maîtriser sa mise en œuvre spécifique. Le béton de chanvre étant également un matériau perspirant, il doit être impérativement protégé sur chantier avant sa mise en œuvre. Il est ensuite protégé par un enduit à la chaux, qui assure l'étanchéité à l'air et à l'eau.»

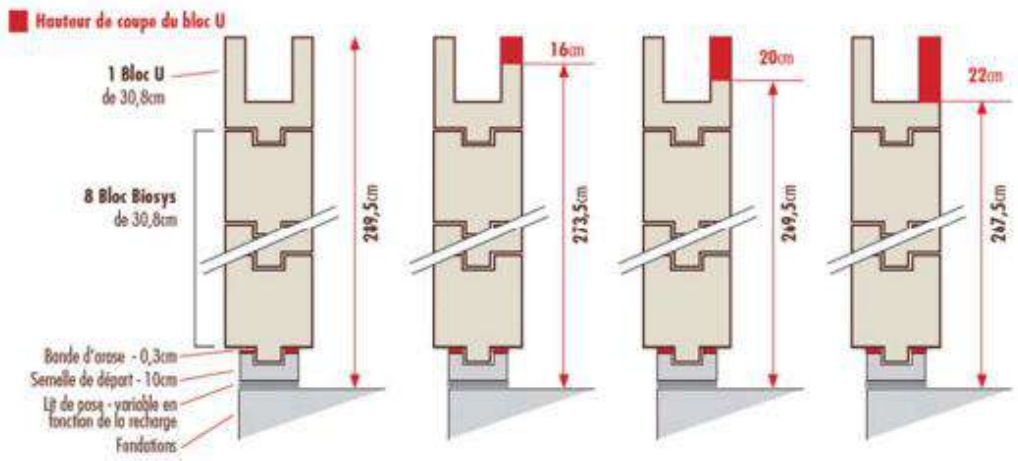


Figure 21 - Calepinage des hauteurs entre dalle brute et sous-face de plancher - extrait de l'Avis technique de Biosys BCE © Vicat

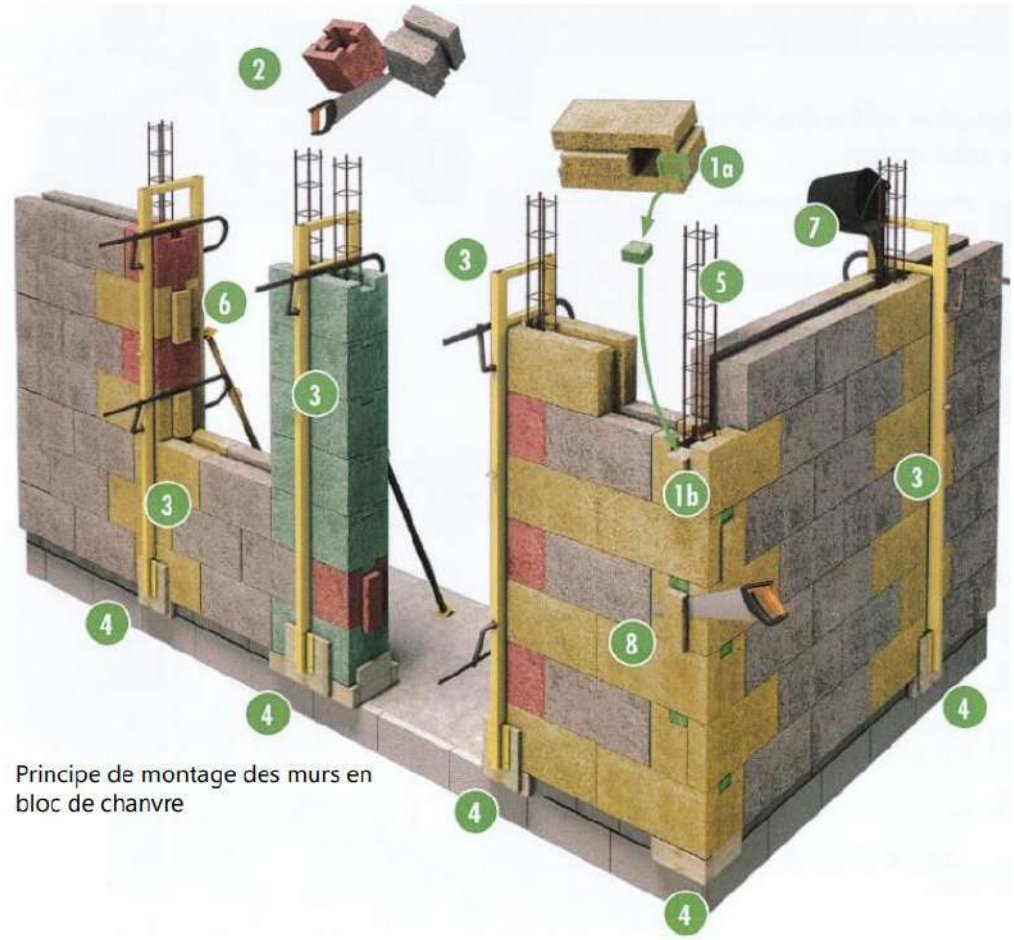


Figure 22 : Vue d'ensemble des différents types de poteaux - extrait de l'Avis technique de Biosys BCE © Vicat

Figure 23 : Chantier de la maison de la Diversité à Lyon 4 – 26 novembre 2024

Alexandre Kerbidi , Responsable Technique Conception Montage – Rhône Alpes, Arcade-vyv Promotion

« Sur l'opération de la Maison de la Diversité, il était prévu à l'origine de coller deux plaques de plâtre BA13 sur les blocs de bétons de chanvre, en intérieur des logements. Un sujet s'est alors posé sur le traitement de l'acoustique. L'avis technique en vigueur au moment du projet étant très adapté pour de la maison individuelle, l'industriel justifie les performances du produit vis-à-vis de l'isolement aux bruits extérieurs. Dans le cas du logement collectif, c'est différent. La réglementation impose des valeurs pour les bruits aériens intérieurs afin d'assurer le bon isolement au bruit d'un appartement à l'autre. Pour justifier cette contrainte par le calcul en conception, il a manqué une valeur d'entrée, les tests en laboratoire n'ayant pas été fournis par le fabricant. Pour assurer l'atteinte des valeurs réglementaires, il a alors été convenu de doubler le Biosys BCE avec un BA13 sur rails de 6 cm, afin d'inclure un isolant intérieur de 4,5 cm au complexe. Cela entraine une perte de surface habitable impactant le projet et sa balance financière.

De plus, l'opération visait un niveau de performance NF Habitat HQE. Le Biosys BCE n'était pas référencé chez l'organisme certificateur qui a alors demandé une note de calcul acoustique. Le calcul n'étant pas possible du fait de la donnée d'entrée manquante, il s'est référer aux règles de l'art. Cela a eu pour conséquence l'ajout de 2 cm supplémentaires du doublage, qui totalise donc 8 cm d'épaisseur. D'où une nouvelle perte de surface.

En complément de ces mesures, le certificateur demande la réalisation d'essais acoustiques in situ, une fois le chantier terminé, pour valider les performances demandées. Cela laisse une part d'incertitude, malgré de nombreuses mesures prises au détriment de l'équilibre financier (perte de SHAB) et de l'impact carbone (ajout de matière) de l'opération.

Pour une meilleur réplicabilité de ce type d'opération, avec emploi du Biosys BCE en logement collectif, il faudrait donc que l'industriel poursuive le développement de sa solution en fournissant de nouveaux tests en laboratoire. Il faut aussi que sa solution soit éprouvée, pour être mieux appréhendée par les contrôleurs techniques et organismes de certifications et ainsi faciliter la justification de ses performances. »

+ En savoir plus : visite du chantier du 26 novembre 2024

Maison des Compagnons du Devoir à Brignais

Anouk Chabert, architecte et Sandrine Gonon, architecte associée – Lipstick + Xanadu

Pour cette opération, nous avons fait le choix du Biosys BCE, mais initialement, deux autres pistes avaient été envisagées :

- *La première piste était des murs ossature bois préfabriqués avec un remplissage béton de chanvre intégrant les menuiseries directement en atelier (Wall'up, société en région parisienne). Au fil des études, nous nous sommes rendus compte de l'impossibilité de créer des panneaux préfabriqués incluant la menuiserie et enduits car le transport présentait trop de risques de dégradation. De plus, les panneaux pour un projet comme le centre de formation des Compagnons du Devoir n'avaient rien de standard dans les hauteurs demandées (6.3m). Cela aurait entrainé une surconsommation de bois pour renforcer l'ossature intérieure et assurer le levage pour la mise en place sur chantier des panneaux. Ce système aurait très bien fonctionné sur une opération de logements, où les hauteurs sont plus standards. De plus cette solution ne disposait pas d'un cadre règlementaire et nous aurions dû procéder à la réalisation d'une ATEx.*
- *La seconde option portait sur une mise en œuvre du béton de chanvre plus traditionnelle : béton projeté dans une ossature bois sur site. La principale contrainte de cette solution était le temps de séchage, qui ne correspondait malheureusement pas au calendrier de cette opération.*

La solution Biosys BCE présentait plusieurs avantages :

- *Structure maitrisée par un système poteau poutre béton, façade de remplissage autoportante en blocs de chanvre. Cela nous a permis une plus grande liberté d'adaptation et d'évolution en cours d'étude (une alternative remplissage bois ou paille aurait été possible)*
- *Nous avons opté pour un enduit chaux extérieur et en intérieur un niveau sur deux (pour gérer l'acoustique), afin de préserver la perspirance du matériau et la qualité de l'air intérieur. Une garde à l'eau est bien sûr à respecter, comme sur tout matériaux biosourcés.*
- *Le chanvre présente des intérêts acoustiques certains. Cependant, sur ce programme spécifique, nous avons dû intégrer des doublages complémentaires entre le niveau des ateliers de formation (forte nuisance sonore) afin de limiter la propagation du son en nez de dalle via le chanvre.*

Ce procédé constructif nous a demandé certaines adaptation et points de vigilance :

- *Du point de vue du dessin, nous avons calepiné les façades en fonction de la taille des blocs. A noter que les blocs étant friables, leur dimension en sortie d'usine ne sont pas précis au millimètre près.*
- *Concernant la thermique, il est nécessaire de faire jointer les blocs les uns avec les autres pour assurer la continuité de l'enveloppe. Si ce n'est pas le cas, il est nécessaire de réaliser des reprises avec du béton de chanvre malaxé sur site.*

Figure 24 : Lipstick + Xanadu

« La solution Biosys BCE a été inventée par un maçon (Damien Baumer) pour les maçons et fait appel au savoir-faire de la maçonnerie.
En outre, une formation dédiée à la mise en œuvre du procédé, à destination des entreprises, est proposée par Sigma Béton, filiale du groupe Vicat et organisme certifié Qualiopi. »

Groupe Vicat

Bloc de Terre Comprimée (BTC)

POINTS CLES ISSUS DES ENTRETIENS

Ces points sont complémentaires de ceux listés dans le chapitre « Enseignements transversaux ».

Dans le cadre de l'enquête, le choix a été fait de se concentrer sur le produit BTC (Bloc de Terre Comprimée), sachant que d'autres types de briques de terre crue industrialisées peuvent être utilisés, notamment les BTM (Blocs de Terre Moulée), les BTE (Blocs de Terre Extrudée). Il existe aussi des blocs de terre produits de manière alternative, qui présentent généralement de meilleures performances sans stabilisation à l'aide de liants hydrauliques comme le ciment et la chaux.

A noter aussi que les trois projets étudiés (groupe scolaire Samuel Paty, collège Katia Krafft[3], Jardin des Balmes) intègrent des BTC en cloisonnement et non pas en mur porteur.

Gestion de projet

Conception

- → Qualités hygrothermique, inertielle et acoustique particulièrement intéressantes dans des pièces à forte fréquentation
- → A contrario, technique peu adaptée dans des zones techniques type cuisine (passage des réseaux et de l'humidité) ou pour des parois contenant de nombreuses ouvertures (fractionnement trop important)
- → Principe de remplissage des BTC dans une ossature bois permettant de s'intégrer dans le planning général des travaux
- → Poids des cloisonnements BTC pouvant entraîner un surdimensionnement de la structure porteuse (densité de la BTC comparable au béton)

Figure 25 : Mur en BTC © Cycle Terre

- → Technique pouvant nécessiter de vérifier le comportement au feu de la cloison (via des tests en laboratoire), ce qui peut avoir un impact sur le planning[4]
- → Suivant le projet (zone sismique, longueurs de pans de BTC, etc.), stabilité structurelle des cloisonnements BTC sur ossature bois à valider par une étude spécifique menée par un bureau d'études spécialisé et complétée d'essais spécifiques (par exemple, sur table vibrante)
- → Point facilitant : l'accompagnement par un BE spécialisé pour :
  - en amont, adopter une conception architecturale adaptée ;
  - favoriser le dialogue avec le Bureau de Contrôle ;

[3] Cette technique a finalement été abandonnée pour l'opération du collège Katia Krafft, voir p.60

[4] Le projet de recherche B2M financé par l'ADEME devrait permettre de justifier plus facilement le comportement au feu des cloisons en briques, sans essais en laboratoire. Finalisation du projet de recherche prévue fin 2026.

- rédiger les cahiers des charges permettant de consulter les entreprises ;
- et assurer d'autres missions comme le suivi de chantier.

→ Des formations existantes à destination des MOE et maçons (amàco, fournisseurs, organismes de formations spécialisés, etc.)

→ Coûts importants : prix d'une cloison BTC estimé à 350 €/m² fourni posé, soit un ordre de grandeur de cinq pour un par rapport à une cloison plâtre classique avec finition peinture, même s'il faut noter que pour une même fonction de cloison intérieure, les deux solutions n'apportent pas les mêmes qualités (par exemple : performances inertielles, acoustiques, hygrothermiques de la cloison BTC)

Approvisionnement

→ Un produit aujourd'hui industrialisé (par rapport à d'autres techniques de terre crue) et commercialisé : faire appel à un fournisseur permet de sécuriser le planning chantier et les approvisionnements (en particulier : il n'y a pas besoin dans ce cas de caractériser les terres de site)

→ Nécessité de projets pilotes avec d'importants volumes de briques pour favoriser l'implantation de filières localement

→ Très forte dépendance des filières de production de BTC aux chantiers à approvisionner, fragilisant ces acteurs

Chantier

→ Mise en œuvre à la portée de toute entreprise de maçonnerie (ce n'est pas le cas pour le pisé par exemple) mais difficulté néanmoins à trouver des artisans pour les chantiers

→ Intérêt de BTC non stabilisées pour faciliter son recyclage et ainsi réduire l'impact environnemental de sa fin de vie, en plus de celui de sa production

→ A contrario, intérêt de BTC stabilisées pour une résistance à l'eau accrue

→ Plus généralement, une filière terre souffrant d'un manque de structuration

Sélection de textes normatifs évoqués à travers les entretiens

Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une vision du contexte normatif dans lequel les opération analysées ont été réalisées (rappel : entretiens réalisés de mars à septembre 2024). Certains textes sont donnés à titre indicatif et ne sont plus en vigueur (ATec et ATEx notamment).

Règles professionnelles :

Il n'existe aujourd'hui pas de règles professionnelles applicables au territoire de la Métropole de Lyon, le seul texte existant s'appliquant à Mayotte :

→ Règles professionnelles Blocs de Terre Comprimée (BTC) Mayotte

Appréciations Techniques d'Expérimentation :

→ ATEx A de Cycle Terre :
- ATEx A cloison BTC – 2911_V1 – validité du 10/05/2021 au 10/05/2023
- ATEx A parement intérieur BTC – 2991_V1 – validité du 10/05/2021 au 10/05/2023
- ATEx A remplissage intérieur de façade BTC – 2990_V1 – validité du 01/02/2022 au 29/02/2024

→ Brique Technic Concept :
- ATEx A murs porteurs en BTC stabilisée à la chaux – validité du 05/10/2021 au 31/10/2023

En date de finalisation du présent rapport (février 2025) :

- Aucune ATEx n'est encore en vigueur : cela n'empêche pas de s'appuyer sur les anciennes ATEx pour travailler avec les bureaux de contrôle au cas par cas et obtenir des avis de chantier permettant d'assurer la mise en œuvre de BTC
- La production de Cycle Terre est à l'arrêt depuis avril 2024
- Brique Technic Concept a été racheté par Terreal / Wienerberger fin 2024, qui poursuit la production de BTC et travail sur :
    - La réalisation d'essais coupe-feu : un CF 1h devrait être validé pour le 2ème trimestre 2025
    - L'écriture d'un avis technique qui sera proposé pour validation de la CCFAT à la commission de novembre 2025

Guides de bonnes pratique :

Ce sont des documents normatifs qui constituent une référence pour les acteurs concernées par les techniques constructives qu'ils décrivent. Pour autant, ces textes ne permettent pas de basculer ces techniques parmi les « techniques courantes », mais ils donnent des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques utiles aux acteurs de la filières. Il en existe six sur la terre crue, dont une sur les briques de terre crue (les cinq autres : torchis, pisé, bauge, terre allégée, enduit en terre). La famille des briques de terre crue comprend les blocs de terre comprimée, adobe et briques extrudées.

Domaine d'application : maçonneries porteuses, maçonnerie en cloisonnement non porteur, maçonnerie de façade non porteuses.

DTU (Documents Techniques Unifiés) :

La mise en œuvre de blocs de terre comprimée n'est à ce jour couverte par aucun DTU spécifiquement dédié à la terre crue et permettant de rentrer dans le cadre des techniques courantes.

Cependant, les acteurs de la filière s'appuient sur deux DTU dont l'application des règles permet de fiabiliser la réalisation d'ouvrages en BTC, porteurs ou non porteurs :

→ NF DTU 20.1 Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs

→ NF DTU 20.13 Cloisons en maçonnerie de petits éléments

CONTRAINTES TECHNIQUES SPECIFIQUES

Expérimenter et fournir les preuves pour faire évoluer les réglementations

Collège République Katia Krafft – Vénissieux

Alexandre Joët, chef de projet – Etamine

Initialement, le projet prévoyait 228 m² des cloisons en BTC, uniquement au RDC.

Les BTC aux étages ont rapidement été abandonnés, dès la phase concours. Il était en effet impossible de plomber les cloisons des étages jusqu'aux fondations. La distribution fonctionnelle du RDC ne s'y prêtait pas. Or, cette disposition était indispensable d'un point de vue structurel étant donné la masse des cloisons en BTC (densité comparable à celle du béton).

Des murs en BTC devaient donc être intégrés au RDC dans les zones à forte occupation (CDI, salle de permanence). L'objectif était d'y apporter une « inertie thermique bas carbone ». Suite à un premier refus du bureau de contrôle, qui craignait une fragilité de l'ouvrage (zone sismique III), un bureau d'étude spécialisé dans la terre crue (BE Terre) a été missionné pour définir et décrire les mesures à mettre en œuvre pour lever cette crainte. Celui-ci a rédigé un carnet de chantier pour convaincre le Bureau de Contrôle (comment entrecouper une cloison BTC, quels espaces, quels matériaux, comment rigidifier avec des poteaux en bois, comment faire la jonction terre/bois…) accompagné d'un cahier des charges permettant en parallèle de consulter les entreprises.
Finalement, ces derniers murs en BTC n'ont pu été intégrés au projet pour des raisons économiques mais aussi aux vues de la difficulté de trouver des artisans compétents et disponibles rapidement.

L'aventure ne s'arrête pas là, nous continuons à travailler sur le déploiement d'enduits terre crue épais (20 à 40 mm), toujours avec BE Terre.
Ces enduits resteront réservés à certains locaux afin d'apporter du confort (identification via simulation thermiques dynamiques des forts apports internes et solaires) mais aussi d'optimiser les coûts. Les plus épais seront mis en œuvre sur treillis compte tenu de leur épaisseur et donc de leur poids.
Dans d'autres salles, un enduit terre crue plus fin (0,5 cm) sera réalisé, sans contrainte de mise en œuvre.

Mettre en œuvre la BTC au bon endroit et adapter le dessin à ses contraintes propres

Groupe scolaire Samuel Paty – Tassin-la-Demi-Lune

Charline Rey, architecte-ingénieure - Vurpas Architectes

« Sur le groupe scolaire Samuel Paty à Tassin-la-Demi-Lune, la BTC est mise en œuvre en cloisonnements intérieurs non porteurs, généralement entre salles de classe et circulations. La terre crue reste donc à l'abri des intempéries et fait profiter le bâtiment en ossature bois de ses qualités hygrothermiques et acoustiques, en plus d'être un matériau peu émetteur de gaz à effet de serre (BTC non stabilisée ni au ciment ni à la chaux).

Pour mettre en œuvre la terre crue sur ce projet, nous avons privilégié les BTC pour leur mise en œuvre à la portée de toute entreprise de maçonnerie. Le principe de remplissage des BTC dans l'ossature bois est un dispositif qui permet de s'intégrer dans le planning général des travaux.

L'utilisation de la BTC a amené l'équipe à quelques ajustements structurels :

- *Le poids des cloisonnements BTC entraîne un surdimensionnement de la structure porteuse*
- *Le bâtiment étant en R+3 en zone sismique, la stabilité structurelle des cloisonnements BTC sur ossature bois en situation de séisme a été validée par une étude spécifique menée par un bureau d'études spécialisé (Vessière), sur les conseils avisés de notre bureau de contrôle (Alpes Contrôle, Jean-Pierre Schwarz)*

Le dessin des circulations a également été guidé par la BTC :

- *La BTC a imposé une logique de trumeaux verticaux toute hauteur, avec un jeu d'alternance entre cloisonnements pleins en terre crue, et parties menuisées qui accueillent les portes avec impostes vitrées, les passages de réseaux fluides. La BTC a pu être conservée en allège de parties vitrées.*
- *La mise en œuvre de BTC sur le mur entre cuisine et salle de restauration n'était pas envisageable, d'abord du fait de l'eau et de l'humidité importantes, mais aussi car cette paroi contient de nombreuses ouvertures, fractionnant régulièrement la cloison.*
- *Les équipements techniques (plomberie, électricité…) ont été privilégiées sur les autres parois pour laisser lire la matière. Sur ces parois en terre crue, les quelques prises et interrupteurs sont en saillie et alimentés par des tubes aciers apparents.*

La mise en œuvre de BTC entre circulations et salles de classe impose également de vérifier le comportement au feu de ce cloisonnement intérieur en terre crue. L'obtention du PV correspondant est laissé à la charge de l'entreprise titulaire du lot. »

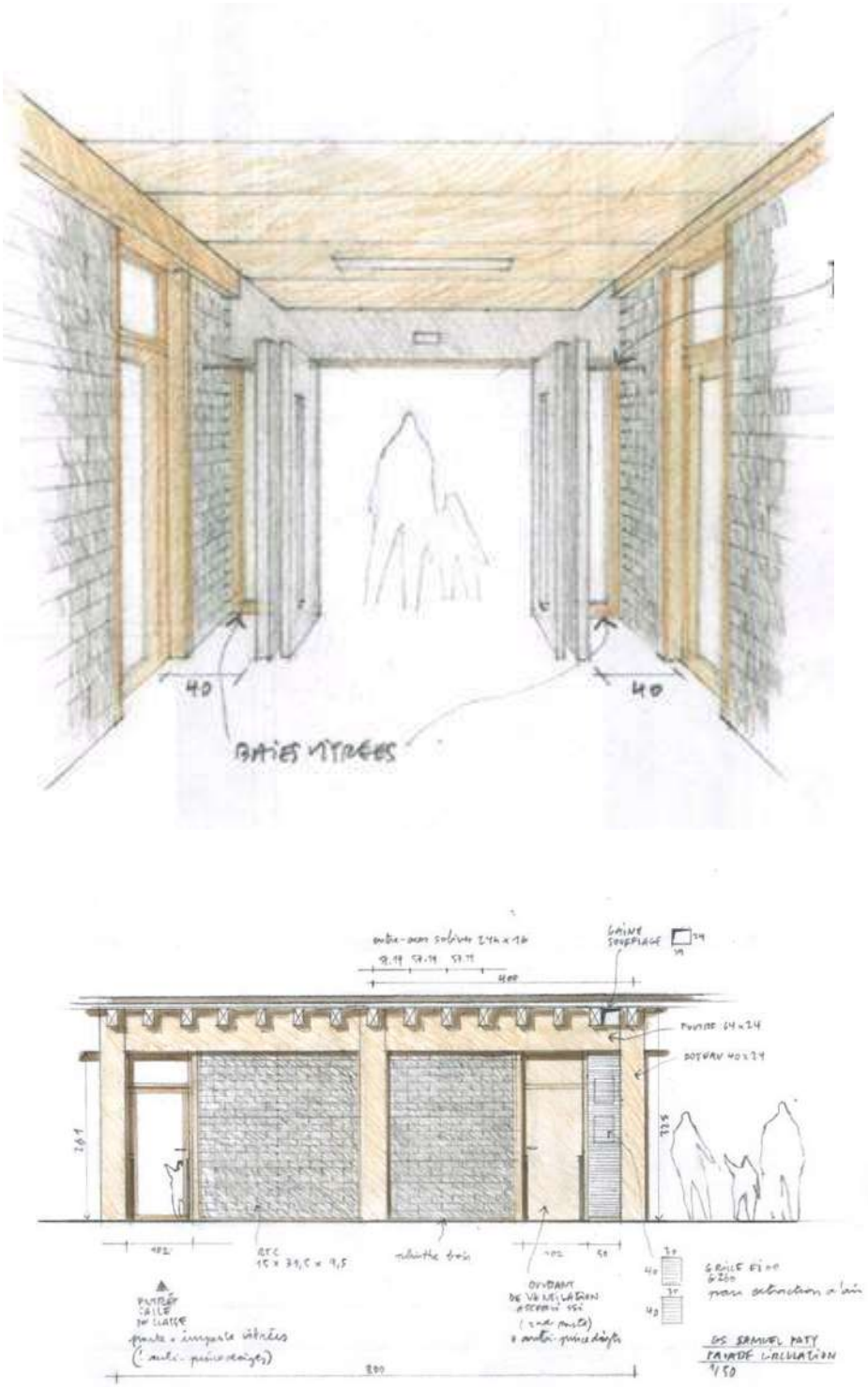


Figure 26 : Perspective d'intégration des BTC © Vurpas Architectes

Figure 27 : Perspective © Vurpas Architectes - Pierre Descubes

Annexes

Fiches de retour d'expérience

Ces fiches détaillent notamment les caractéristiques techniques de ces bâtiments (systèmes constructifs, matériaux retenus), les coûts de construction ainsi que les freins et leviers identifiés en phase conception ou réalisation.

- Immeuble mixte Saint Clair
- Le Cèdre
- Surville
- Les Floralines
- Ampère
- L'Oïkos
- Complexe sportif Mohamed Ali
- Bureaux Hydroscand

Fiche bâtiment - Mise en oeuvre de matériaux biosourcés, géosourcés et/ou d'une démarche de réemploi

Fiche bâtiment - Mise en oeuvre de matériaux biosourcés, géosourcés et/ou d'une démarche de réemploi

Glossaire des principaux acronymes

APS : Avant-Projet Sommaire
ATec : Avis Technique
ATEx : Appréciation Technique d'Expérimentation
BE : Bureau d'Etudes
BTC : Bloc de Terre Comprimée
CCTP : Cahier Des Clauses Techniques Particulières
CLT : Cross Laminated Timber (en français, bois lamellé croisé)
COB : Construction à Ossature Bois
DTU : Documents Techniques Unifiés
ERP : Etablissement Recevant du Public
FOB : Façade à Ossature Bois
GO : Gros-Œuvre
IT : Instruction Technique
Loi MOP : Loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique
MGP : Marché Global de Performance
MOA : Maître d'OuvrAge
MOE : Maître d'OEuvre
PC : Permis de Construire
PPRT : Plan de Prévention des Risques Technologiques
RE2020 : Réglementation Environnementale 2020
RFCP : Réseau Français de la Construction Paille
RP : Règles Professionnelles
SDP : Surface De Plancher
SHAB : Surface HABitable