

## CHANTIER / LA RÉALISATION DU MOIS

# Acier, bois et béton de chanvre pour un immeuble HLM

Ce petit immeuble parisien présente plusieurs particularités techniques, parmi lesquelles une structure de portiques acier. Cette solution rare dans le logement social contemporain est ici associée à une enveloppe intégralement en béton de chanvre projeté.

**LIEU** 37, rue Myrha Paris (XVI<sup>e</sup> arr.)

**MAÎTRISE D'OUVRAGE** RIVP (Régie immobilière de la Ville de Paris)  
• Qualiconsult AMO environnement

**MAÎTRISE D'ŒUVRE** North by Northwest (Richard F. Thomas et Christine Désert) : architecte • LM Laurent Mouly BET : structure-enveloppe-thermique • MDETC : économiste  
• TGT : architecte coordinateur du secteur Château Rouge – Goutte d'Or

**SURFACE TOTALES** 570 m<sup>2</sup> Shon, dont 345,78 m<sup>2</sup> Shab logements + 49,9 m<sup>2</sup> surface utile de commerce

**COÛT TOTAL** Environ 1 422 000 € HT

**ENTREPRISES** Tempere Construction : entreprise générale • Favreau : structure métallique • Charpimo : ossature, charpente, bardage et précadres bois • Batiéthic : application du béton de chanvre projeté

Le bâtiment s'élève sur une parcelle exiguë de 14,45 m de largeur et 17,85 m de profondeur. Cette configuration en lanière est typique du tissu urbain dense du secteur Château Rouge – Goutte d'Or dans le nord de Paris. Le projet s'inscrit dans un important programme de rénovation urbaine supervisé par l'agence d'urbanisme TGT (Treuttel-Garcia-Treuttel). L'immeuble émerge légèrement au-dessus de ses voisins R+2 ou R+3+combles. Le programme superpose un sous-sol à usage de local technique, un commerce (50 m<sup>2</sup>) au rez-de-chaussée sur rue, 3 logements T3 (73 m<sup>2</sup>) de R+1 à R+3 et un T4/T5 en duplex (102 m<sup>2</sup>) au sommet de l'édifice. Ce dernier bénéficie de terrasses privatives avec vue sur le Sacré-Cœur. Les séjours sont orientés au sud avec de grandes baies sur le jardin, alors que les chambres et les salles de bains, éclairées par des fenêtres verticales, sont regroupées côté nord sur rue. Les deux façades sont nettement différenciées. Celle

sur rue est caractérisée par un rez-de-chaussée formant soubassement et des fenêtres verticales cernées d'un précadre en bois. Son enduit à la chaux et le zinc recouvrant les parties opaques de l'attique en retrait à R+5 participent d'une filiation avec la tradition historique de l'architecture des faubourgs parisiens. La façade sud habillée d'un bardage en mélèze propose une composition plus domestique et chaleureuse, en accord avec l'esprit d'un petit jardin planté.

Avec sa structure acier et son remplissage en béton de chanvre, la conception de ce bâtiment actualise et renouvelle les principes constructifs de nombreux immeubles anciens à structure de pans de bois et remplissage pierre « tout venant » ou, plus récemment à l'ère industrielle, ossature de pans de fer et remplissage brique.

La modernité du projet se vérifie, notamment, dans un haut niveau d'exigences environnementales. Sur la base de la RT 2005, le bureau d'études « visait » le label H&E Performances profil A. Le bilan énergétique finalisé lui permet de revendiquer le label BBC avec un CEP de 49,4 kWep/(m<sup>2</sup>.an). Outre une conception bioclimatique, l'immeuble se distingue par la présence de 30 m<sup>2</sup> de capteurs solaires à tubes sous vide produisant une partie de l'eau chaude sanitaire correspondant à 21,5% du total des besoins en énergie de l'immeuble.

Jean-Pierre Ménard



Des croix de Saint-André en pignons et sous les planchers assurent le contreventement de la structure acier.

**A** Dans les étages sur rue, les cadres en bois des portes-fenêtres se détachent sur l'enduit à la chaux de la façade en béton de chanvre.

**B** Les larges baies de la façade sud sur jardin diffusent les apports solaires dans les séjours.



(Docs. NXNW.)

**150 m<sup>3</sup>**

Volume de béton de chanvre mis en œuvre (soit environ 49,5 tonnes)

**42 tonnes**

Poids total de la structure métallique

**18,40 m**

Hauteur du bâtiment au faîtage

**49,4 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an)**

Consommation en énergie primaire du bâtiment se répartissant comme suit:

- chauffage 21 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an),
- ECS 14,5 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an),
- éclairage 7,1 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an),
- auxiliaires 6,7 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an)

## Portique acier et ossature bois pour une structure légère

La mauvaise qualité du terrain d'assise (cavités et carrières souterraines, avec poches de gypse) et l'exiguïté de la parcelle justifient le choix d'une structure métallique. Le maître d'ouvrage comme les concepteurs voulaient éviter les fondations profondes sur pieux nécessaires dans le quartier pour les immeubles en béton. Une structure légère s'imposait donc.

L'acier a été préféré au bois pour ses qualités mécaniques supérieures permettant la création d'une structure très rigide avec un minimum de matière et un contreventement peu contraignant. De plus, avec le bois il aurait été difficile de s'affranchir d'une gaine béton autour de l'ascenseur.

Un socle béton minimal est constitué du sous-sol haut de 3 m. Il se prolonge ponctuellement autour de la vitrine du commerce au rez-de-chaussée. Pour le reste, la structure juxtapose et superpose des portiques en acier, réunis de manière à former une structure tridimensionnelle de type poteaux-poutres. La structure acier s'élève jusqu'au faîtage de la toiture à deux pentes de l'étage partiel du duplex coiffant l'immeuble.

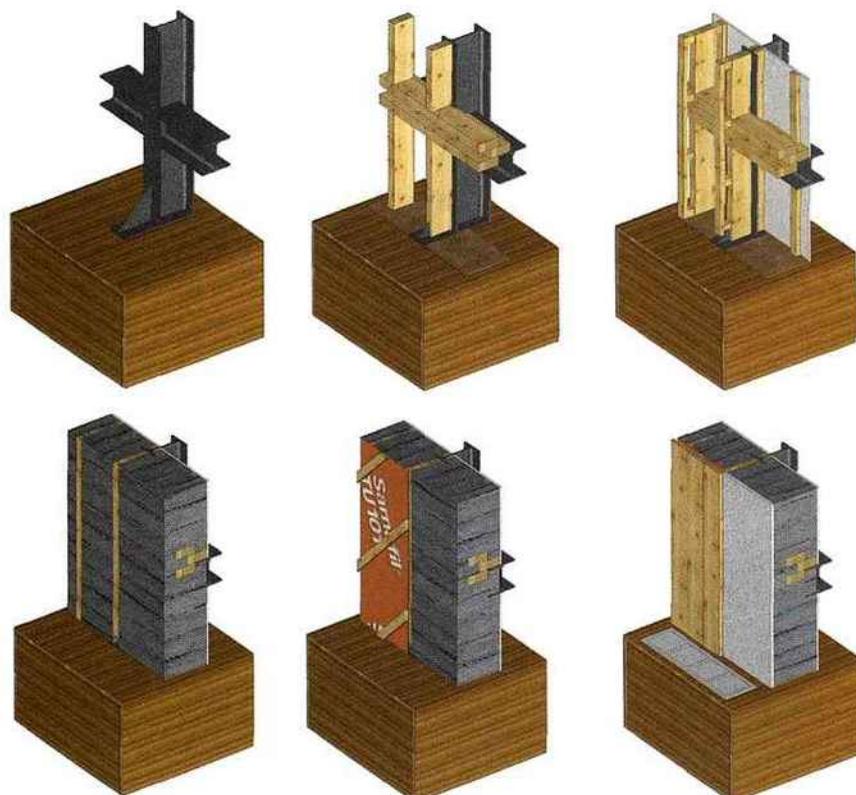
Les composants principaux de cette structure sont, à la verticale, les poteaux de façades de type HEB 280, les poteaux intermédiaires (travées du centre du bâtiment) HEA 180 et ceux de la cage d'ascenseur de type IPE 200. Les poutres maîtresses sont des IPE 300 côté façades, complétées de traverses HEA 180 et de solives HEA 160. L'implantation de ces composants suit une trame de largeur maximale de 3 à 4 m. Les planchers sont constitués de bacs acier collaborants, dans lesquels sont coulés 13 cm de béton intégrant les réseaux du chauffage central par radiateurs. Le contreventement très compact est assuré par des croix de Saint-André sur les pignons, certains portiques centraux et sous les planchers. Le poids total de la structure acier est de « seulement » 42 tonnes.

Les portiques ont été assemblés par soudures en atelier, avant d'être mis en place in situ, puis liaisonnés par boulonnage, avec éclisses d'ancrage sur les semelles béton au rez-de-chaussée. Ainsi, le chantier fut rapide et propre, à la satisfaction des voisins.

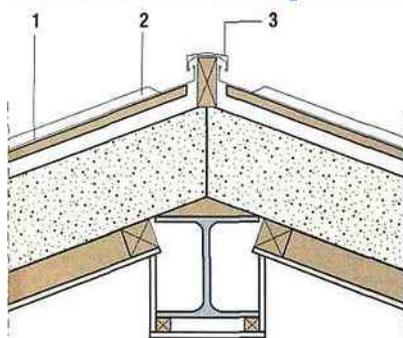
L'enveloppe en béton de chanvre projeté est portée par une ossature secondaire positionnée à l'extérieur en façades. Cette ossature bois repose en façade nord sur des montants de section 45 x 120 mm. Côté sud, la section des montants est de 45 x 220 mm + tasseaux 45 x 45 mm, afin de supporter le bardage bois ventilé. Des encorbellements en bois fixés sur des cornières métalliques au niveau des planchers R+1 et R+3 sont prévus pour respecter les règles de mise en œuvre du béton de chanvre qui limitent actuellement la hauteur autorisée du remplissage à R+2.



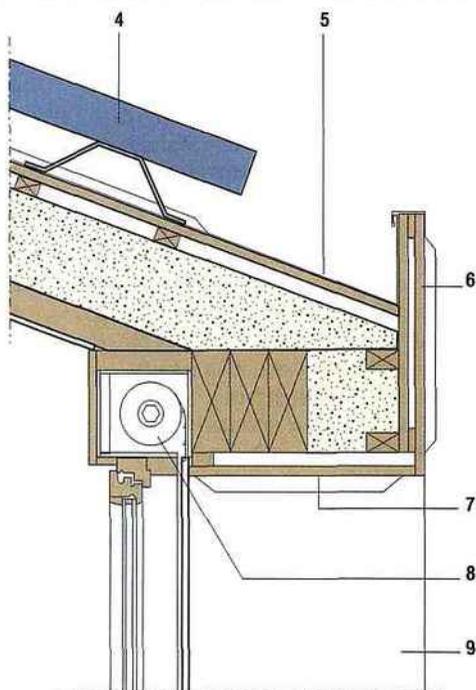
L'ossature bois du béton de chanvre projeté est positionnée à l'extérieur de la structure acier.



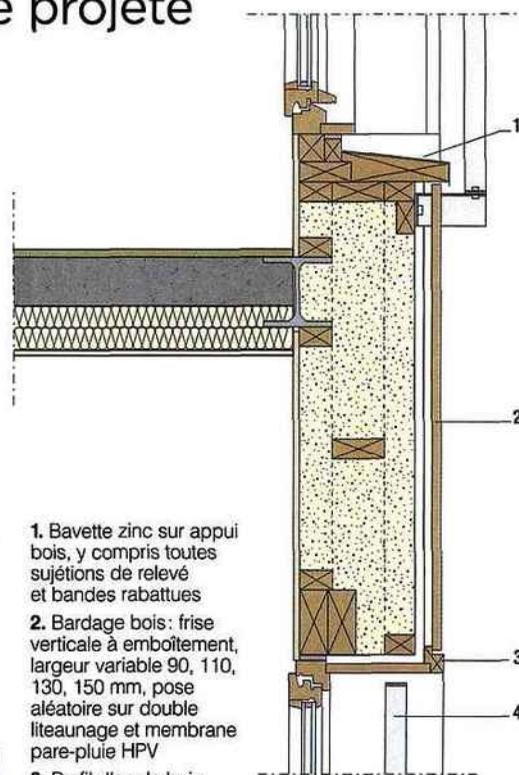
## Isolation répartie en béton de chanvre projeté



1. Toiture pente 25° couverture zinc ventilée à joints debout
2. Couverture zinc sur voligeage sapin du nord liteauage, écran de sous-toiture HPV, chevrons 60 x 200 mm, contre-chevonnage 70 x 70 mm, béton de chanvre 270 mm, plaques de Fermacell, finition peinture microporeuse
3. Fâitage ventilé
4. Panneau solaire thermique
5. Chêneau zinc



6. Bardage zinc à joints debout sur volige, lame d'air, pare-pluie HPV posé sur ossature bois du complexe de façade/toiture en béton de chanvre
7. Linteau : habillage zinc à joints debout sur support bois, y compris toutes sujétions de relevés, bandes rabattues et jonctions avec habillages latéraux en tableau
8. Coffret de volets roulants aluminium, fixation sur châssis vitrés et linteau L.C.
9. Tableau habillage zinc à joints debout



1. Bavette zinc sur appui bois, y compris toutes sujétions de relevé et bandes rabattues
2. Bardage bois : frise verticale à emboîtement, largeur variable 90, 110, 130, 150 mm, pose aléatoire sur double liteauage et membrane pare-pluie HPV
3. Profil d'angle bois massif avec façons de feuillure et larmier pose au même nu que le bardage
4. Grille acier thermolaquée constituée de plats d'acier soudés, barreaudage et lisses 50 x 5 mm entraxe 110 mm hauteur finition en tapée

■ Solution atypique, le béton de chanvre n'est ni un matériau structural, ni un isolant au sens conventionnel du terme. Il s'agit d'un matériau de remplissage destiné à des parois à ossature, qu'elles soient verticales, horizontales ou inclinées. Cette polyvalence a permis de réaliser une enveloppe homogène, avec du béton de chanvre projeté en façades, sur les murs mitoyens, les pignons est et ouest à R+5 et en toiture (terrasses et couverture à deux pentes au sommet du bâtiment). En dépit d'un coefficient lambda plutôt moyen à la verticale (0,085 W/(m.K)), il est possible de créer des façades d'une épaisseur raisonnable (27 cm), dont la résistance thermique atteint R : 3,17 m<sup>2</sup>.K/W. Le mélange est constitué de chaux aérienne et de chènevotte (partie ligneuse du chanvre) labellisée bâtiment, avec côté rue un enduit traditionnel à la chaux de 2 cm d'épaisseur [Tradical] PF 80 + sable), et sur jardin un bardage en mélèze ventilé. En toiture, c'est-à-dire à l'horizontale ou sur une faible pente, la résistance mécanique recherchée étant inférieure, la composition du remplissage présente un ratio chaux-chanvre différent : un sac de chaux Tradical PF 70 pour un sac de chènevotte Chanvribat, au lieu de

deux sacs de chaux pour un sac de chènevotte pour les parois verticales. Il en résulte un lambda de 0,06 W/(m.K), et une résistance thermique R : 4,5 m<sup>2</sup>.K/W pour une épaisseur identique de 27 cm. Sur l'ensemble de l'enveloppe, y compris donc pour les 12 cm de béton de chanvre sur mitoyen, la projection est assurée par une unique machine installée au rez-de-chaussée. Cette pompe spécialement développée pour cette technologie procède au mélange chaux + eau + chènevotte. Le débranchage est possible environ 5 min après projection. De la sorte, la mise en œuvre du béton de chanvre projeté est rapide : 60 m<sup>2</sup> par jour en 30 cm d'épaisseur pour une paroi verticale, et jusqu'à 90-100 m<sup>2</sup> en couverture. La récupération des chutes de projection participe à la bonne économie générale de cette technologie. De plus, à la différence d'autres matériaux isolants, la chaux et la chènevotte ne provoquent ni allergie respiratoire, ni irritation de la peau. Le béton de chanvre enveloppe simultanément la structure primaire en acier et l'ossature secondaire bois « externe ». À l'occasion, on notera une bonne compatibilité entre l'acier et le béton de chanvre en raison de la basicité de la chaux.

Concrètement, le béton de chanvre est projeté entre les éléments d'ossature sur des panneaux type Fermacell à fonction de « fond de coffrage perdu ». Ces derniers constituent un parement de finition intérieure rigide d'un aspect proche de celui des plaques de plâtre, mais préservant une certaine perméance à la vapeur d'eau. Un système de branches « glissantes » facilite le contrôle du remplissage mécanique, et assure la continuité du remplissage à l'extérieur de l'ossature bois, afin d'éviter les ponts thermiques. Au fur et à mesure, un tassage manuel permet de réguler la densité du mélange. Une membrane posée en face extérieure des façades assure l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Avantage ici déterminant, le béton de chanvre est léger, 330 kg/m<sup>3</sup>, à comparer aux 2200 kg/m<sup>3</sup> d'un béton ordinaire. Par ailleurs, le béton de chanvre projeté affiche une bonne tenue au feu. Selon les explications de l'architecte-ingénieur Laurent Mouly : « Il se consume, mais ne s'enflamme pas et il ne contient aucun composant polluant ». Quant à l'évocation « des fumées de chanvre », elle suscite quelques sourires et on nous affirme que la chènevotte utilisée n'a rien d'un stupéfiant.

## Changements de phase au cœur de la chènevotte

Les mesures réglementaires des performances des matériaux isolants ne rendent pas bien compte de l'efficacité du béton de chanvre. Les consommations mesurées in situ sont fréquemment inférieures de 20% aux valeurs théoriques. Au-delà des chiffres, les témoignages des occupants d'un bâtiment en béton de chanvre confirment la sensation de vivre dans un cadre sain, avec une étonnante stabilité de la température et de l'hygrométrie ambiantes, quels que soient les aléas climatiques.

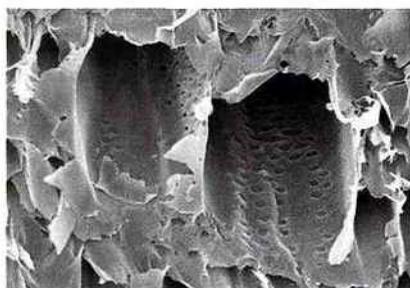
Ces résultats longtemps un peu «mystérieux» sont mieux compris depuis la publication des travaux du professeur Mike Lawrence de l'université de Bath (Royaume-Uni). Celui-ci a construit et instrumenté dans l'enceinte même de l'université une cellule test aux quatre façades en béton de chanvre. Parallèlement, il a été le premier à étudier les fibres de chanvre au microscope à balayage électronique. Ses observations ont révélé la présence de microcanaux composant

un réseau de capillaires jusqu'ici inconnu.

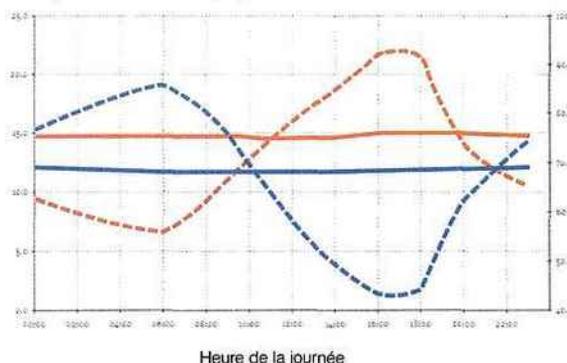
Les transferts hydriques spécifiques à ce matériau expliquent pour une large part les changements de phase (condensation/évaporation) de l'eau (ou de la vapeur d'eau) résiduelle dans la paroi se produisant à des températures courantes : entre 10-15 et 25-30°C. Ainsi, des mesures sur douze et trente-six heures montrent qu'une amplitude des variations des températures extérieures atteignant environ 30°C (entre +5 et +35°C) est comme «lissée» par le mur en béton de chanvre, puisque la température à la surface interne de la façade reste stable entre 17 et 24°C après douze heures et entre 18 et 21°C après trente-six heures. Des cycles réguliers de condensation-évaporation apparaissent comme la seule explication rationnelle de ce phénomène, avec une libération de chaleur par condensation à environ 15°C et un rafraîchissement par évaporation au-delà de 25°C. Un parement interne en plaques de Fermacell atténue

probablement l'efficacité de cette régulation naturelle, tout en préservant les avantages du béton de chanvre en matière de stabilité de la température surfacique et d'hygrométrie du mur.

Par ailleurs, un bilan carbone basé sur les valeurs d'émission déterminées par l'Ademe sur une durée de soixante ans, en comparant plusieurs types de construction, révèle que dans un bâtiment comme celui-ci, les émissions de CO<sub>2</sub> dépassent à peine les 200 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>; alors qu'elles s'élèvent à plus de 600 kg sur un bâtiment traditionnel (selon type Plan climat). Dans un immeuble en béton de chanvre, les émissions liées au bâti lui-même sont ainsi inférieures d'un facteur 3, par rapport à celles liées à l'utilisation sur cette période de soixante ans. Les limites au développement du béton de chanvre restent liées à un surcoût encore sensible (10 à 20%), et au nombre réduit de bureaux d'études et d'entreprises maîtrisant cette technologie.



Le microscope à balayage électronique a permis de mieux comprendre la disposition des capillaires de la chènevotte.



### Température et humidité relative mesurées lors d'une journée d'avril dans un bureau

- Température moyenne intérieure (°C)
- - - Température moyenne extérieure (°C)
- Humidité relative moyenne intérieure (%)
- - - Humidité relative moyenne extérieure (%)

(docs Mike Lawrence - Université de Bath (GB) pour Lhoist/BCB)

## Coût total : 1 183 000 € HT

Shon 570 m<sup>2</sup>, soit 2075 € HT/m<sup>2</sup>

### STRUCTURE ET ENVELOPPE

**694 900 €**, dont :

- Structure métal + env. béton de chanvre : 327 400 €
- Gros œuvre – socle béton : 132 500 €
- Menuiseries extérieures : 49 500 €
- Occultations – volets roulants aluminium : 31 500 €
- Bardage mélèze façade jardin : 20 250 €

### ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

**205 150 €**, dont :

- Chauffage-ventilation : 76 850 €
- Ascenseur : 50 000 €
- Installation ECS solaire : 40 000 €

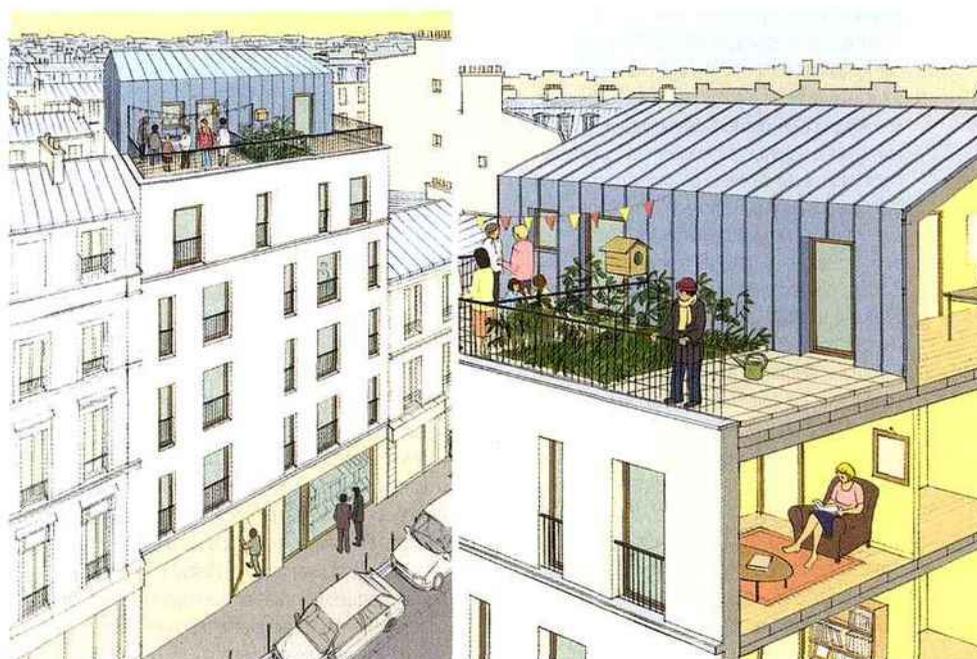
### AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS/FINITIONS

**264 500 €**, dont :

- Métallerie : 72 040 €
- Cloisons – doublages – plafonds suspendus : 60 100 €

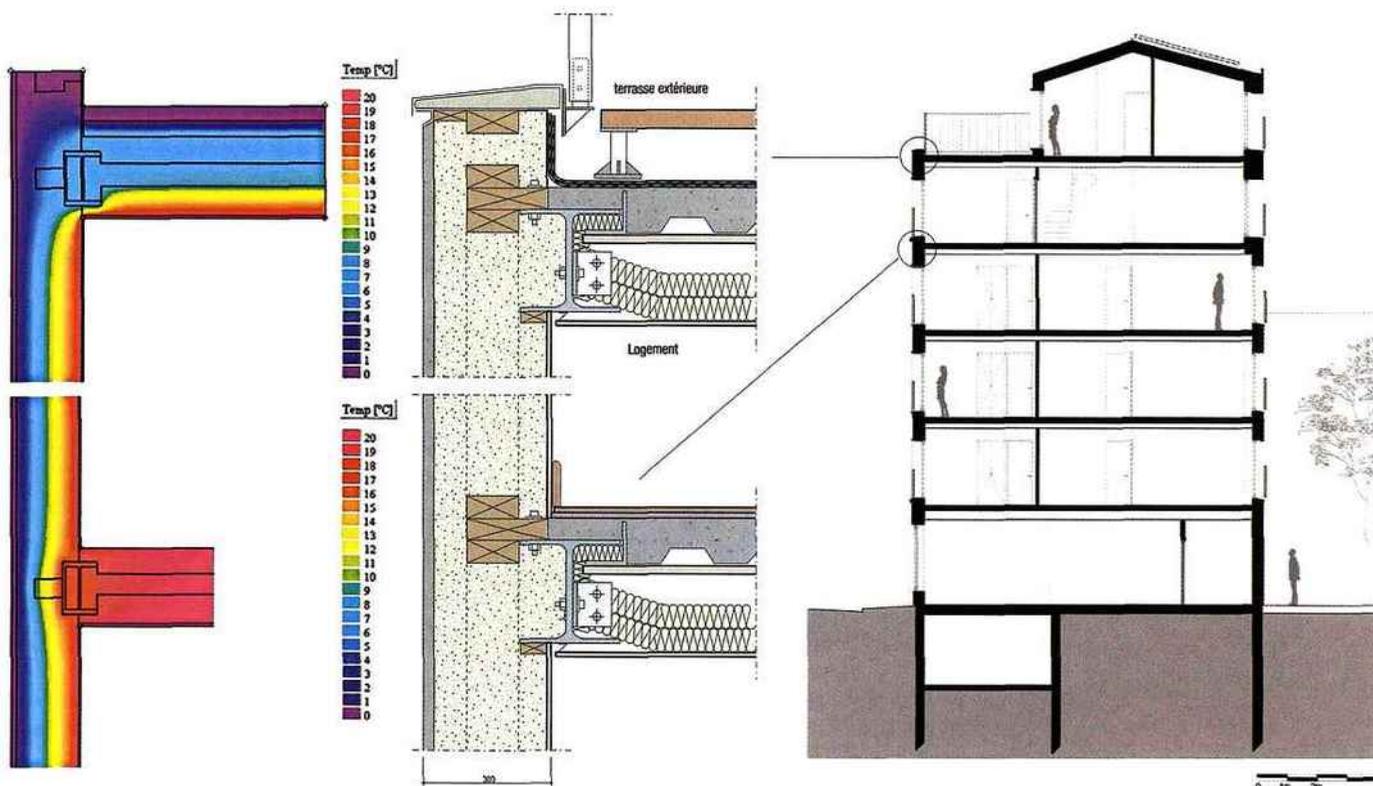
### ESPACES VERTS

**18 200 €**



(Docs. Martin Étienne)

## Ponts thermiques traités par béton de chanvre projeté



Le béton de chanvre enveloppe intégralement les façades, y compris au niveau des nez de plancher. Sur une période de cinquante ans, les émissions de CO<sub>2</sub> n'excèdent pas 9,38 kg/m<sup>2</sup> (donnée Construction 21.eu).

## Les produits spécifiques du chantier



### Chênevotte pour béton de chanvre

#### Chanvribat de BCB

La chènevotte est la partie centrale ligneuse du chanvre. Elle est parcourue d'un réseau de capillaires qui lui confère un fort pouvoir isolant.

[Fiche Batiproduits](#)

[www.batiproduits.com/p/21386](http://www.batiproduits.com/p/21386)

### Menuiseries bois

#### Gamme Inova de Bieber

Les portes-fenêtres de la façade sur rue (1 170 x 1 970 mm) en pin sylvestre sont dotées de vitrages de sécurité isolants Saint-Gobain SP 10 (44/2 16 10).

[Fiche Batiproduits](#)

[www.batiproduits.com/p/35553](http://www.batiproduits.com/p/35553)



### Capteurs solaires

#### Dietrisol Pro C de De Dietrich

Ce sont 30 m<sup>2</sup> de capteurs solaires vitrés sur rampant de toiture au sud qui sont associés à deux ballons de 800 l chacun (appoint par chaudière à condensation).

[Fiche Batiproduits](#)

[www.batiproduits.com/p/14441](http://www.batiproduits.com/p/14441)



### Bacs acier collaborants

#### Cofrastra 40 d'Arcelor

Bacs acier de planchers collaborants. Ondes de 40 mm en forme de queue-d'aronde. Ils participent dans ce projet à la sécurité coupe-feu entre étages et à l'allègement du bâti.

[Fiche Batiproduits](#)

[www.batiproduits.com/p/11040](http://www.batiproduits.com/p/11040)