

# FICHE OPÉRATION

## CONSTRUIRE EN PAILLE

### Gymnase Chareyre

La construction du nouveau gymnase et de ses locaux annexes a pour objectif de compléter l'offre en équipement sportif pour les besoins du sport scolaire, principalement liés au collège attenant, ainsi qu'aux besoins associatifs. L'équipement comprend une grande salle de sport et des vestiaires. Un effort important a été porté sur le choix de matériaux sains tels que le bois et la paille, celle-ci étant utilisée en bottes pour l'isolation, avec un complément en fibre de bois.

#### ACTEURS :

Maîtrise d'ouvrage : CONSEIL GÉNÉRAL DE LA DRÔME

Maîtrise d'ouvrage opérationnelle : MAIRIE DE CREST

Assistant maîtrise d'ouvrage : HOLIS CONCEPT

Maîtrise d'oeuvre : R2K ARCHITECTES (architecte, mandataire, OPC), EA2C CHRISTIAN TEYPAZ (économiste), CTG (BE structure béton), ARBORESCENCE (BE structure bois), CET (BE fluides, HQE), ACOUSTB (BE acoustique), APAVE (BE contrôle), COMBAS, MATHIEU GRENIER (assistance conduite de chantier)

**COÛT DES TRAVAUX :** 2,13 M€ HT

**SURFACE :** 1 870 m<sup>2</sup> SHON

**PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE :** Label THPE et équivalent Passivhaus (sans certification)

**vad**  
VILLE  
& AMÉNAGEMENT  
DURABLE

« Partager ce que l'on sait  
et apprendre du savoir des autres »



Crest (26)  
Livré en juin 2012



Le bâtiment se compose d'un volume principal abritant la grande salle sur une base d'environ 25 m x 50 m et une hauteur d'environ 10 m, orienté nord/sud, et de 2 volumes attenants plus bas sur ses longs pans est/ouest, d'une hauteur d'environ 3 m, abritant les rangements du côté est, et l'accueil, les circulations et les vestiaires du côté ouest.



### Relation du bâtiment avec son environnement

- Orientation nord/sud afin de conserver et valoriser le marronnier. Bâtiment tirant bénéfice de cette orientation : pignon sud inclus dans le projet sous forme d'un mur solaire ; pignon nord, entièrement plein, faisant dos aux vents dominants, permettant la mise en place du mur d'escalade à l'intérieur ; flancs est et ouest de la halle utilisés pour amener de la lumière naturelle abondante adoucie par un filtre bois.
- Dégradé des volumes permettant de dégager la couronne de l'arbre nécessaire à son développement et d'éviter trop de vis-à-vis avec le volume du gymnase existant.
- Bâtiment ne faisant pas barrage visuel pour l'appréhension des berges et du paysage vers Crest.
- Local et garage vélo totalisant 45 places, flux piétons, cycles et véhicules séparés.

### Choix des procédés et produits de construction

- Charpente en pin noir du Diois originaire de la Drôme, bardage extérieur / brise-soleil en pin Douglas.
- Isolation en paille et fibre de bois.
- Soubassement en gabions.
- Toiture végétalisée sur les parties annexes.

### Gestion de l'énergie

- Chauffage : mur sud équipé de panneaux SolarWall®, relié à la CTA de la grande salle pour préchauffage de l'air neuf. Complément généré par une petite chaudière à gaz à condensation.
- Eau chaude sanitaire : 10 m<sup>2</sup> de panneaux solaires en toiture incliné à 60° orientés plein sud. Préparateur d'ECS semi-instantané. Bouclage hydraulique pour le maintien de la température à 55 °C.
- Ventilation :
  - En hiver, ventilation mécanique via la CTA double flux avec prise d'air neuf dans le mur solaire.

- En été, ventilation naturelle par les ouvrants en façade (rafraîchissement nocturne automatisé en fonction des températures intérieures et extérieures).
- Éclairage artificiel : circulations et grande salle largement éclairées pour limiter au maximum le recours à l'éclairage artificiel.
  - Luminaires fluorescents 2 x 80 W graduables dans la grande salle. 2 modes d'éclairage prévus. Mode entraînement (300 lux) avec pilotage individuel de chaque luminaire via sonde de luminosité intégrée. Même si l'éclairage est suffisant, le luminaire sera en fonctionnement avec une puissance réduite à 10 %. Mode compétition (500 lux), fonctionnement à puissance maximale sans gradation.
  - Détecteurs de présence au niveau des circulations et des sanitaires.
  - 17 kW de puissance d'éclairage prévus (tarif bleu conservé).
- Gymnase prêt à recevoir du photovoltaïque grâce à la réalisation anticipée du réseau en attente pour la pose.
- Ubât = 0,36 m<sup>2</sup>.K/W (Ubâtref - 30%).
- Bilan RT2005 prévisionnel
  - Chauffage : 10,2 kWhep/m<sup>2</sup>SHON.an
  - ECS : 25,19 kWhep/m<sup>2</sup>SHON.an
  - Électricité : 30,81 kWhep/m<sup>2</sup>SHON.an
  - TOTAL : 66,2 kWhep/m<sup>2</sup>SHON.an.
- Etanchéité à l'air gymnase mesurée en janvier 2012 : Q<sub>4</sub> = 0,52 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> (la norme imposait une valeur inférieure à 3 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>).

### Gestion de l'eau

- Récupération des eaux pluviales grâce à une citerne de 5 m<sup>3</sup> pour alimentation des toilettes et arrosage de la toiture végétalisée. Economie annuelle estimée = 270 m<sup>3</sup>.
- Eaux de pluies traitées à la parcelle, grâce à un bassin d'infiltration rempli de pneus usagers.
- Systèmes hydro-économiques (temporisateurs,...).



### Maîtrise des confort

- Acoustique : totalité de la surface du plafond traitée en absorbant (env. 1 200 m<sup>2</sup>), grâce à un dispositif comprimant l'isolant acoustique sous les chevrons et l'OSB support de la toiture. Absorbant disposé sur les deux longueurs du gymnase et sur le pignon sud de type lames de bois ajourées sur laine minérale. Il dissimule les gaines techniques et les parties plus complexes situées à la jonction des différents volumes du gymnase.
- Hygrothermie : ventilation naturelle nocturne activée ou désactivée par une centrale météo, ouvrants commandés électriquement à distance. Inertie assurée par la dalle directement sur terre-plein et la toiture végétalisée sur les locaux annexes.
- Éclairage naturel : ensemble des locaux doté d'apport de lumière naturelle adaptée en fonction de la fréquence d'usage.
  - Circulations et grande salle largement éclairées par trois façades (sud, est et ouest), implantation de fenêtres en hauteur pour limiter l'éblouissement, complétées par des brise-soleil.
  - Fenêtres de toit apportent un éclairage zénithal dans les douches, vestiaires, et sanitaires.
  - Lanterneau individuel dans chaque vestiaire.

### Gestion des pollutions, nuisances et risques

- Qualité de l'air : ventilation importante et continue (mécanique ou naturelle), calée sur débits hygiéniques (30 m<sup>3</sup>/h par sportif et 18 m<sup>3</sup>/h par accompagnant). Priorité à la ventilation naturelle en dehors de la saison de chauffe.

### Gestion de l'exploitation, de l'entretien et de la maintenance

- GTC commandant les équipements techniques du bâtiment. Installations automatisées et pilotées à distance.

## Les principes intégrés au projet

- Capturer les apports solaires gratuits.
- Se protéger du Mistral et éviter les déperditions au nord, suppression de toute ouverture en pignon nord.
- Éviter les surchauffes par les vitrages à l'est et à l'ouest par la mise en place de brise-soleil verticaux sur les fenêtres de la halle, au sud par des brise-soleil horizontaux et par une dépassée de toiture généreuse sur la circulation d'accès aux vestiaires.
- Mettre en place une ventilation naturelle traversante entre est et ouest dans la halle.
- Réaliser une toiture végétalisée qui permet de garder la chaleur en hiver et la fraîcheur en été.
- Optimiser les isolants et la composition des parois, pour limiter les déperditions.
- Minimiser l'utilisation de l'éclairage artificiel par l'installation de puits de lumière.



## Le confort d'été

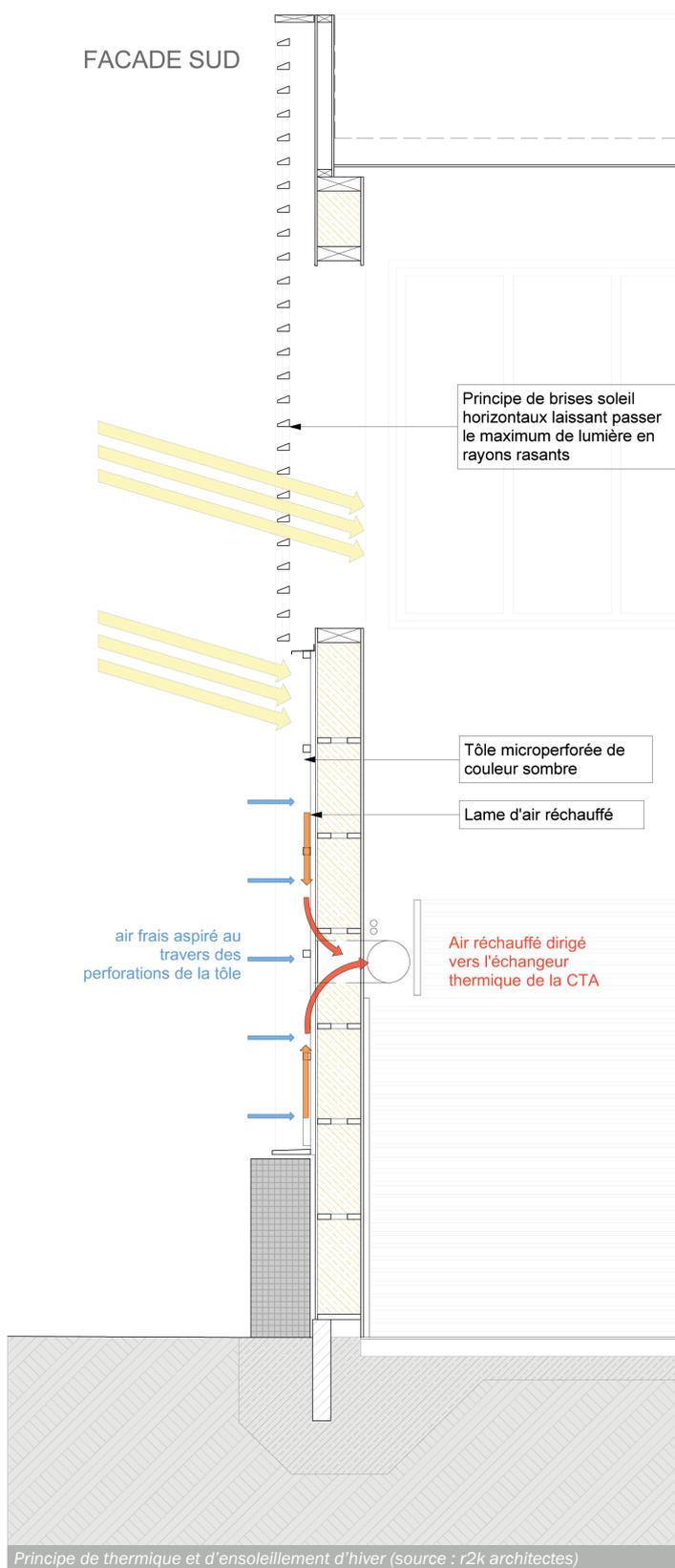
Le bâtiment n'est pas climatisé.

La halle est équipée d'abatant sur compas ( $45^\circ$ ) pour la ventilation naturelle à l'intérieur de l'espace sportif, asservie à une station météo et à une régulation interne des sondes. Les vestiaires et les autres locaux annexes (bureau, circulation, hall) sont ventilés naturellement, grâce au lanterneau, ou aux baies vitrées situées en façade ouest, également tous contrôlés grâce à une station météo installée en toiture.

Les brise-soleil situés devant la circulation en façade ouest ont été orientés par calcul pour vérifier l'orientation adéquate, afin de protéger la dite façade des surchauffes de fin de journée. En façade sud des brise-soleil en bois (7 cm) à l'horizontale protègent les ouvertures, éléments vitrés ou translucides des surchauffes estivales. Une inertie conséquente est assurée par la dalle directement sur terre-plein et la toiture végétalisée sur les locaux annexes.

La ventilation naturelle nocturne est activée ou désactivée par une centrale météo (températures, vent et pluie) en période estivale ou de demi-saison.

Le solarwall®



**DES BESOINS DE CHAUFFAGE FAIBLE**

La température de consigne est réglée à 14 °C dans la halle, même si la température habituelle est de 16 °C pour un gymnase. Cette démarche est soutenue par la maîtrise d'ouvrage pour faire des économies d'énergie. Le chauffage aéraulique de la grande salle permet de garantir la température de consigne 98 % du temps en occupation, soit 70 heures environ en dessous de 14 °C. Des déstratificateurs permettent d'homogénéiser la température. Outre une isolation performante, l'orientation du gymnase et le climat drômois ensoleillé permettent de récupérer les apports solaires gratuits.

**PRINCIPE DU SOLARWALL®**

Ce dispositif de chauffage utilisant l'énergie solaire réalisé sur la face sud du bâtiment, capte la chaleur du soleil et transfère l'énergie à l'intérieur du bâtiment. Le système est composé d'un revêtement métallique extérieur perforé. Cet absorbeur solaire est placé à une quinzaine de centimètres d'un mur exposé au sud, créant une cavité d'air. L'air est chauffé entre 5 et 25 degrés au dessus de la température extérieure ambiante dès qu'il passe au travers de la surface du revêtement métallique. Collecté dans la cavité d'air, il est ensuite distribué dans le bâtiment au travers des Unités de Traitement de l'Air ou au moyen d'un ventilateur. En été, l'air chaud situé entre les panneaux et le bâtiment est ventilé vers l'extérieur ; de ce fait le mur solaire ne dégrade pas le confort thermique au niveau du gymnase.

**DES ÉCONOMIES SUBSTANTIELLES**

Le dispositif du mur solaire sud relié à la CTA de la grande salle, permet de diminuer de manière significative les consommations en chauffage du gymnase grâce à un apport de l'ordre de 17 500 kWh/an, sur une consommation de 25 000 kWh/an selon la RT2005. Le complément de chaleur résiduelle nécessaire est généré par une chaufferie gaz à condensation 80 kW :

- Rendement à 100 % charge : 96.8 %,
- Rendement à 30 % charge : 108 %.

La technique de construction met en œuvre des caissons auto-porteurs en bois, remplis par des bottes de paille, préfabriqués en atelier et mis en place par levage mécanisé.

« La paille est le matériau idéal pour des bâtiments ayant des murs de très grande hauteur comme un gymnase (ici 9 mètres). L'utilisation de ce matériau, proposée par Arborescence, a suscité un réel engouement de la part du client. »

Laurent CLERE – Arborescence

### Construire avec le bois

#### CHARPENTE EN BOIS MASSIF

Au delà de son faible impact environnemental, le bois est très adapté au franchissement des grandes portées.

La charpente du gymnase (portée d'environ 24 m) est formée par des bois massifs (pin noir) disposés en X suivant deux rampants à 3% et sous tendus par des tendeurs métalliques par l'intermédiaire de contre-fiches et poinçons en pin noir. La disposition en X des arbalétriers assure un fonctionnement en poutre au vent de la charpente.

La stabilité d'ensemble est obtenue dans les pignons et les façades de la grande salle, reliés par un diaphragme de toiture d'environ 25 m x 50 m naturellement très raide du fait de la structure triangulée en plan des fermes principales. Les pignons sont munis de stabilisations en X de Saint-André en tendeurs métalliques sur toute la hauteur, et les façades sont munies de stabilisations en Y en tendeurs métalliques sur la partie haute vitrée, et en diagonale bois sur la partie basse dans l'ossature bois.



#### REVÊTEMENTS INTÉRIEURS ET EXTÉRIEURS

De simples planches formant platelages ajourés participent aux revêtements intérieurs pour combiner ambiance chaleureuse et acoustique agréable. Le bois des façades est et ouest en filtres est réalisé en douglas essence durable, qui grisera à terme pour se rapprocher des teintes des galets du gabion.



#### PIN NOIR, DOUGLAS, ÉPICÉA, ...

Ce projet se distingue par une forte volonté de la part de la maîtrise d'ouvrage de mettre en œuvre des matériaux locaux et plus particulièrement par l'utilisation d'un bois massif de pays : le pin noir (Laricio), qui a fait l'objet d'une étude qualitative de la part de FIBRA / FIBOIS 07-26 en 2006. L'utilisation sur ce projet du pin noir, se veut démonstrative de la qualité des bois locaux. La filière bois locale a été mobilisée par les maîtres d'ouvrages (ville et département) pour pouvoir répondre à cette demande particulière.

Pour réaliser la charpente en pin noir du Diois, des études complémentaires ont dû être réalisées afin de valider sa résistance. L'ossature des murs est composée d'épicéa lamellé collé et de 3 plis. Douglas, épicéa, pin des landes ont été utilisés pour le bardage extérieur posé en écailles et pour les parois acoustiques.

« Le pin noir local est très nerveux et a posé problème au charpentier : déformation du bois, encrassement des outils... Il faut être vigilant à la ressource locale de pin noir qui s'avère présenter des variations significatives de qualité selon les massifs forestiers. »

Laurent CLERE – Arborescence

#### BOIS PEINTS

Dans le souci de minimiser l'entretien, les interventions sur le bâtiment (économie de moyens humains, mesures financières et sécuritaires), la maîtrise d'ouvrage a souhaité que les huisseries soient protégées par une peinture.

Le process Naboco, écologique, et sans produit toxique a été retenu pour ses performances (garantie est de 10 ans). Ce procédé innovant stabilise le bois par trempage, le rend imputrescible ; la finition s'effectue par plusieurs passages de peinture.

#### CAISSONS DE MURS PRÉFABRIQUÉS

Les caissons de murs sont préfabriqués en modules rectangulaires à ossature bois de 2,40 m de hauteur par 4,92 m de longueur. Leur face intérieure est en panneau de 3 plis d'épaisseur 22 mm tandis que leur face extérieure est en panneau de fibres de bois assemblés rainurés-bouvetés constituant une isolation extérieure complémentaire continue.

#### INTÉRÊT DE LA PRÉFABRICATION

La forte préfabrication des systèmes de structure bois qui sont assemblés en atelier permettent un chantier propre et une rapidité d'exécution : bonnes conditions de travail en sécurité et sans intempéries en atelier, et moins de déchets sur le site de construction.

Paroi	Localisation	Nature	U (W/m <sup>2</sup> .K)
Dallage sans isolation	Grande salle, locaux stockage	Dallage (15 cm) sur blocage en tout venant dans la halle avec isolation périphérique verticale (H=70 cm, R ≥ 3.45 m <sup>2</sup> .K/W). Mousse polyuréthane (5,3 cm) + polystyrène expansé	0,237
Dallage avec isolation	Vestiaires	Dallage béton (13 cm) finition quartz sur isolant en zone vestiaire. R ≥ 3.45 m <sup>2</sup> .K/W	NC
Terrasse végétalisée	Sur vestiaires et accueil	Complexe de toiture végétalisée + bacs précultivés + membrane d'étanchéité polyoléfine fixée mécaniquement + deux lits de laine de roche (12 cm et 14 cm - R ≥ 6,34 m <sup>2</sup> .K/W) + pare-vapeur sur panneau OSB	0,176
Toiture non accessible	Grande salle	Membrane polyoléphine PVC + laine de roche croisée (26 cm - R ≥ 6,34 m <sup>2</sup> .K/W) + platelage OSB (1,8 cm) + laine de verre (5 cm) sur empannage chevron de pin noir	0,176
Mur paille	Grande salle	Agepan (3,2 cm) + botte de paille (36 cm) + OSB (1,8 cm) ou panneaux 3 plis (3,5 cm) avec ossature isolé OSB + laine de verre	0,160
Menuiseries bois	Locaux annexes et grande salle	Bois, double vitrage argon	1,5

Caractéristiques des parois

## Isoler avec la paille

Les caissons de 36 cm d'épaisseur sont assemblés et remplis de bottes de paille en atelier. Chaque botte a une dimension de 110 x 45 x 36 cm et pèse environ 22 kg. Ces caissons sont livrés sur le chantier en modules de 2,50 m x 5,00 m et sont fixés entre les poteaux principaux à 20 cm du sol pour éviter les remontées capillaires. Les films pare-vapeur sont rescotchés sur place et les caissons sont recouverts d'un pare-pluie pincé par des tasseaux verticaux. Des panneaux de fibre de bois de 35 mm extérieurs assurent l'étanchéité à l'eau et améliorent encore l'étanchéité à l'air garantie par le film pare-vapeur. Ils permettent également d'éviter les ponts thermiques. Cette épaisseur de 35 mm reste un minimum pour assurer une bonne rigidité et un bon maintien des bottes de paille dans le caisson. Les fenêtres sont posées en alignement avec la façade extérieure et le pare-vapeur est posé sur le tableau intérieur de la fenêtre.

« Il est possible d'utiliser uniquement de la paille en isolation et donc de se passer d'un isolant extérieur continu (ici la fibre de bois) par la réalisation d'une double ossature en bois qui permet de couper les ponts thermiques » précise Coralie Garcia, ingénieure au Réseau Français de la Construction en Paille.



**Volume de bois consommé : 440 m<sup>3</sup>**  
**Nombre de bottes de paille : 1 500**

## LA PAILLE DANS LA CONSTRUCTION

La paille utilisée en tant qu'isolant thermique est une ressource naturelle, économique et écologique. C'est un matériau « durable » puisqu'il se renouvelle tous les ans de façon abondante dans la plupart des régions. Son impact environnemental est très faible, et elle se recycle parfaitement.

### FABRICATION USUELLE

La fabrication de l'isolant thermique se déroule à l'aide de presses agricoles lors de la récolte des céréales dans les champs et plus tard sous abri (lieu de fabrication). La paille est tournée dans le sens de la largeur de la botte, transversalement aux ficelles synthétiques. Le matériau de construction ne reçoit aucun autre composant lors de sa fabrication.

### CARACTÉRISTIQUES

La paille répond aux « Cahier de Charges du Producteur de Paille pour l'Isolation de Bâtiments ». Le contrôle de la botte doit porter sur l'humidité relative inférieure à 20 % ; la masse volumique de la paille, après conditionnement et stockage sous conditions climatiques normales 23° C et 50% d'humidité relative dans l'air, doit se situer entre 80 à 120 kg/m<sup>3</sup>.

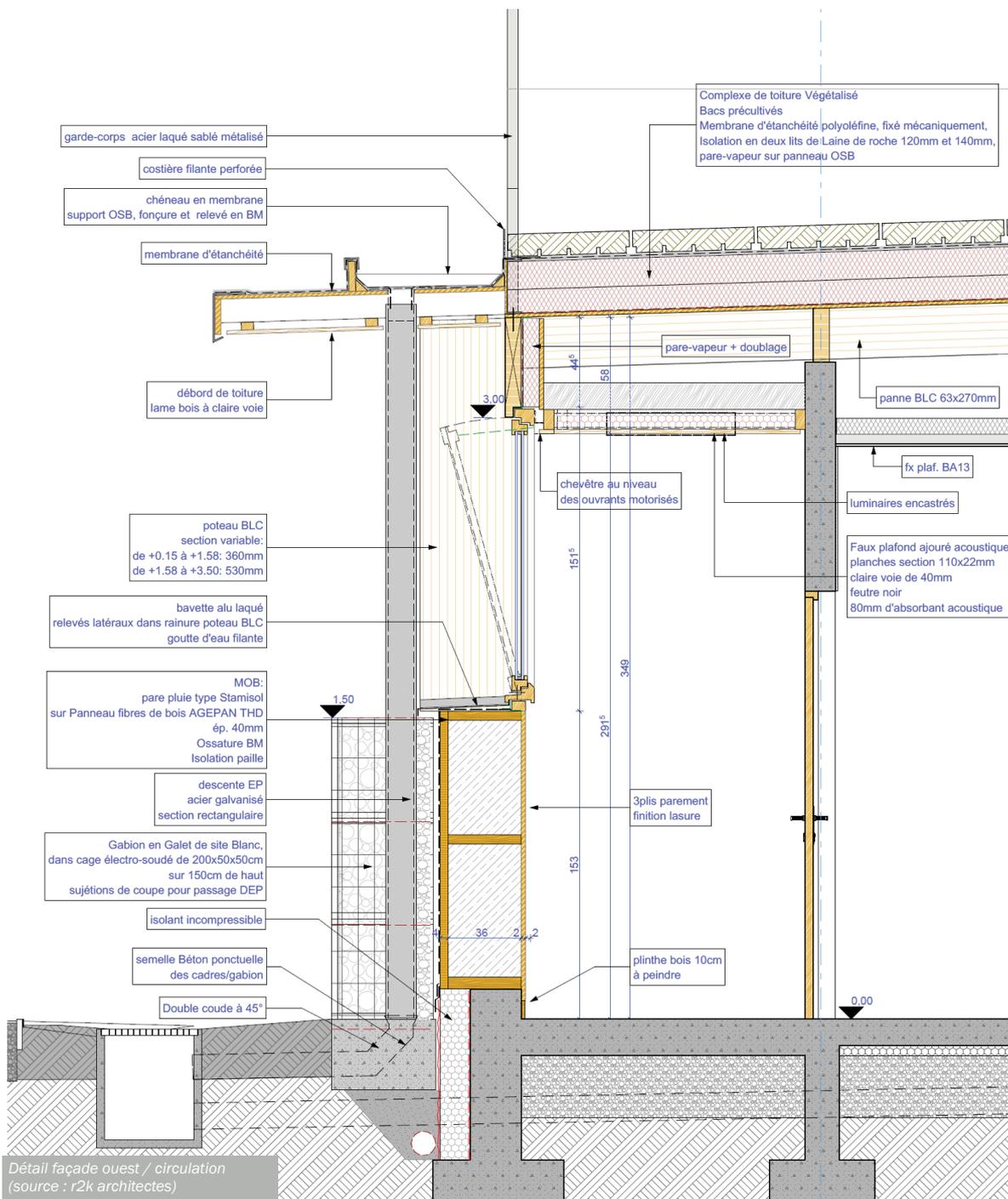
Les dimensions sont relevées à des emplacements prédéterminés avant et après ce stockage :

- épaisseur (transversalement à la paille) : environ 360 mm.
- largeur (dans le sens de la paille) : environ 450 mm.
- longueur : réglable dans la presse de 600 à 1 200 mm.

Selon la norme DIN EN 1608(7), la résistance des ficelles à la traction doit être au moins 10 fois supérieure au poids de la botte de paille. Les ficelles de liage sont en polypropylène et de type 350 ml/kg minimum.



*Pour être utilisables en construction, les bottes de paille doivent respecter certaines caractéristiques : densité, ficelage, taux d'humidité.*



## PERFORMANCE THERMIQUE DE LA PAILLE

**La conductivité thermique ( $\lambda$ ) de la paille fixée par la RT 2012 est égale à 0,052 W/m.K.**

Il s'agit donc de la valeur à prendre en compte dans les calculs thermiques.

Issue d'une valeur allemande, cette conductivité a été majorée de 15% pour prendre en compte l'incertitude liée aux différents types de bottes.

Dans ce projet (épaisseur des bottes de 36 cm), cela correspond à une résistance thermique R de 6,9 W/m<sup>2</sup>K et à une performance du mur paille (hors laine de bois,...) U mur de 0,145 W/m<sup>2</sup>.K.

### Points de vigilance et difficultés

Avec le gymnase de Crest, r2k architectes et Arborescence signent leur premier bâtiment utilisant la paille comme isolant. Plusieurs difficultés et points de vigilance ont été relevés.

Laurent Clere, d'Arborescence, constate qu'il existe encore de gros freins psychologiques et culturels concernant l'utilisation de la paille dans le bâtiment. La principale crainte du bureau de contrôle est la transmission du feu à travers la paroi lors d'un incendie : « il faut essayer de faire valoir les essais sur le sujet tels que ceux d'Olivier Gaujard ».

Pour Mathieu Grenier, assistant à la conduite de chantier pour r2k architectes,

le but de ce projet est de démontrer que l'on peut construire en paille et d'enlever les idées reçues des 3 petits cochons.

« Quand ce projet a été réalisé, il n'y avait pas d'essais en France faits sur ce matériau, les seuls DTU disponibles étant ceux réalisés par l'Allemagne. C'est sur cette base que r2k a réalisé les prescriptions et le cahier des charges. En l'état actuel des choses, il est possible d'obtenir une garantie décennale sur la structure bois en faisant monter son ossature par une entreprise de charpente, comme c'est le cas sur le gymnase de Crest sous certaines conditions : la paille ne doit pas être porteuse, ne doit pas être à l'air et ne doit pas prendre l'humidité ».

Concernant la question de l'humidité, Laurent Clere rappelle qu'il est important que la paille reste bien sèche lors de son installation, pour éviter le pourrissement. Si elle est bien protégée, la paille garde ses propriétés isolantes au fil du temps. Des fiches de contrôle densité et hygrométrie ont été établies pour ce projet.

Par rapport à ces différents points, Coralie Garcia du Réseau Français de la Construction en Paille précise que des règles professionnelles de construction en paille ont été écrites et validées le 1<sup>er</sup> janvier 2012 et que des essais ont été réalisés notamment avec des enduits terre et chaux ainsi que des essais d'allumabilité qui se sont révélés être positifs.



#### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES :

- Réseau Français de la Construction en Paille (« Les Compailleurs »), association ayant pour but de réunir les différents acteurs et actrices de la construction en paille en France : <http://www.compailleurs.eu>
- Règles professionnelles de construction en paille. A retrouver sur : <http://www.compailleurs.eu>
- Gabion, centre de formation et d'expérimentation à l'éco construction et à la réhabilitation du bâti ancien. Page internet dédiée à la paille : <http://gabionorg.free.fr/paille.htm>
- Rapport d'essai du comportement au feu d'un élément de façade (ossature bois + remplissage paille) du CSTB. A retrouver sur le site du bureau d'études Gaujard : <http://www.bet-gaujard.com>

#### REMERCIEMENTS POUR LEURS CONTRIBUTIONS AU DOSSIER :

Stéphane Lepers - Holis Concept, Myriam Caudrelier - r2k architectes, Mathieu Grenier - assistance à la conduite de chantier pour r2k architectes, Laurent Clere - BET Arborescence, Simon Loyat et Danièle Mazerès - Ville de Crest, Coralie Garcia - Réseau Français de Construction en Paille

Crédit photos (sauf mention contraire) : Akunah\_r2k architectes

#### VILLE ET AMÉNAGEMENT DURABLE

19 rue Victorien Sardou - 69007 Lyon  
Tel : 04 72 70 85 59  
[associationvad@orange.fr](mailto:associationvad@orange.fr)  
[www.ville-amenagement-durable.org](http://www.ville-amenagement-durable.org)