

04 / 2023



ville & aménagement durable

(R)éveillons nos pratiques

CARNET DE CHANTIER



Occupation temporaire  
Urbanisme transitoire  
Paille porteuse

# L'Espace de Partage et d'Innovation (EPI)

Gratte-Ciel, Villeurbanne (69)

Avec le soutien de :



Ce programme d'action est cofinancé par l'Union européenne



Ville & Aménagement Durable est un réseau de professionnels du bâtiment et de l'aménagement durable en Auvergne-Rhône-Alpes. Il regroupe 430 structures adhérentes. Tous les métiers sont représentés pour, ensemble, s'informer, se former, débattre et coconstruire de nouveaux standards.

Notre force, des professionnels au service des professionnels, où les adhérents sont les moteurs de l'activité en mettant leur expérience au service du réseau. Nous impliquons et mobilisons chaque année plus de 2 000 professionnels.

[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)

# Sommaire

---

|         |   |
|---------|---|
| page 4  | <b>Un contexte spécifique d'urbanisme transitoire</b> |
| page 10 | <b>Fiche d'identité du projet</b>                     |
| page 14 | <b>Les choix retenus en conception</b>                |
| page 23 | <b>Organisation générale du chantier</b>              |
| page 26 | <b>La paille porteuse</b>                             |
| page 47 | <b>Quel devenir pour l'EPI ?</b>                      |
| page 48 | <b>En images</b>                                      |
| page 49 | <b>Pour aller plus loin</b>                           |
| page 50 | <b>Dans la même série</b>                             |

Crédit photos (sauf mention contraire) :  
Ville & Aménagement Durable

# Un contexte spécifique d'urbanisme transitoire

---

L'EPI - L'Espace de Partage et d'Innovation – est un projet de construction temporaire rendu possible par un contexte spécifique lié à la mutation urbaine du centre-ville de Villeurbanne.

## Le projet de ZAC Gratte-Ciel Centre-Ville

Portée par la Métropole et la ville de Villeurbanne, la ZAC Gratte-Ciel Centre-Ville vise à intensifier le centre-ville de Villeurbanne sur 8 ha d'ici à 2030, en répondant aux exigences de durabilité, de mixité et de qualité de vie. L'ensemble construit dans les années 1930 autour de l'actuelle avenue Henri Barbusse, issu de la vision de l'architecte Môrce Leroux et du maire de l'époque Lazare Goujon, a donné au quartier des caractéristiques du XX<sup>e</sup> siècle.



Quartier Gratte-Ciel en 1950 (© Le Rize)

Afin de répondre aux enjeux de restructuration et d'extension, l'opération de renouvellement urbain vient questionner l'échelle et les fonctions de ce centre-ville.

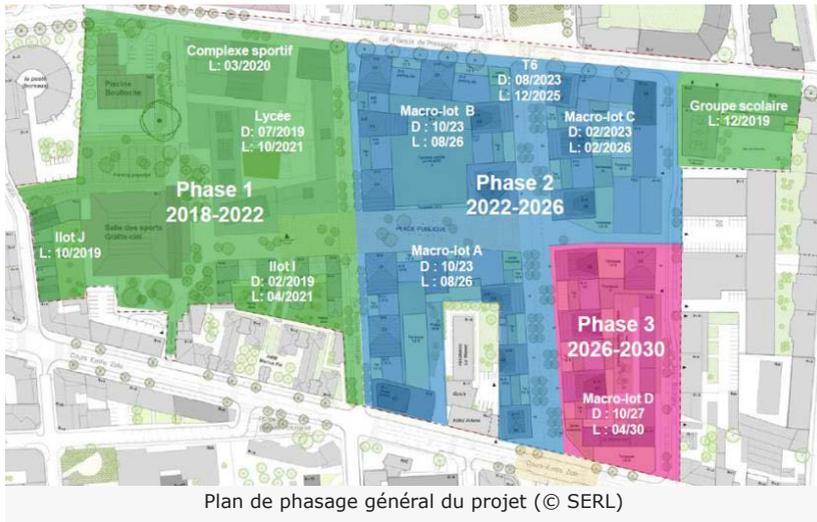


Maquette du projet de ZAC, exposée dans la maison du projet

Lancée en 2008 par une concertation et portée par la SERL (Société d'équipement du Rhône et de Lyon), la ZAC a émergé en 2011. Son classement en AVAP (Aires de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine) a suivi l'année suivante. L'objectif est ainsi de donner naissance à un projet urbain conçu sur-mesure et qui répond aux besoins des usagers.

Il est porté par des ambitions fortes en termes de :

- Qualité environnementale : macro-lots A/B/C/D avec un objectif E3C1, confort d'été, chauffage urbain, géothermie, schéma directeur du réemploi, schéma directeur de logistique urbaine, technosols perméables, chantiers zéro déchets
- Qualité architecturale, paysagère et d'usage : espaces publics piétons/apaisés, frais, pour tous, continuité architecturale, d'ambiances et d'usages avec le quartier historique, espaces communs dans les bâtiments



## Acteurs du projet urbain

**Maîtrise d'ouvrage :** Métropole de Lyon et ville de Villeurbanne

**Aménageur :** SERL

**Architecte urbaniste en chef :** Agence Nicolas Michelin & Associés, Vizea, BERIM, Atelier JEOL

**Maîtrise d'œuvre des espaces publics :** In Situ, Artelia, LEA, Sols Paysage

## L'occupation temporaire

Les travaux de déconstruction, intervenus de 2016 à 2017, ont permis la mise à disposition d'un terrain d'expérimentation d'environ 7 000 m<sup>2</sup>. Véritable laboratoire urbain, cet espace est investi par les lauréats d'un appel à projets sur la période 2019-2023. L'ambition est d'expérimenter, préfigurer le futur quartier, faire participer les habitants au projet et de créer l'événement autour de thématiques cohérentes avec une urbanisation raisonnée : agriculture urbaine, occupation des toitures, matériaux innovants, santé dans le bâtiment, culture et sport.

Le GIE La Ville Autrement est garant de l'animation de la zone et s'assure que les temps d'échanges entre les riverains et les occupants permettent un enrichissement respectif.

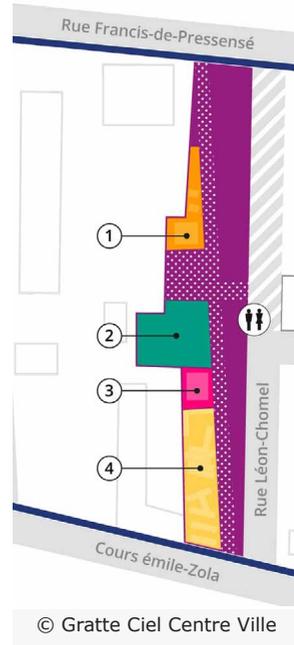
# Projets présents sur l'occupation temporaire

## META - Maison des Echanges et des Transmissions Associatives (1)

- Autoconstruction avec structure bois et containers
- Deux containers espaces de travail : un adapté à l'hiver, l'autre à l'été
- Bar associatif
- Accueil d'événements culturels

## Gratte-terre (2)

- « Pépinière volante » : utiliser une petite surface de pleine terre en ville, y faire pousser des espèces locales (graines glanées dans le quartier) et les intégrer aux espaces verts
- Jardin potager pédagogique pour les habitants du quartier, les enfants
- Agriculture (urbaine) pensée sans eau et sans pétrole pour répondre aux défis du changement climatique



## L'EPI - L'Espace de Partage et d'Innovation (3)

- 1<sup>ère</sup> partie : bar + micro-distillerie qui a vocation à se déplacer. Une installation légère, dans des containers, qui peut se défaire et se refaire facilement.
- 2<sup>ème</sup> partie : bâtiment en paille porteuse, structure bois, enduit terre. Un ERP démonstrateur.

## La Ferme des Artisans (4)

- Test d'espaces verts « alternatifs » qui ne répondent pas nécessairement aux codes et normes habituelles du jardin « propre »
- Containers pour accueillir des artisans qui n'auraient pas la possibilité d'avoir « pignons sur rue » en centre-ville
- Toits végétalisés sur les containers

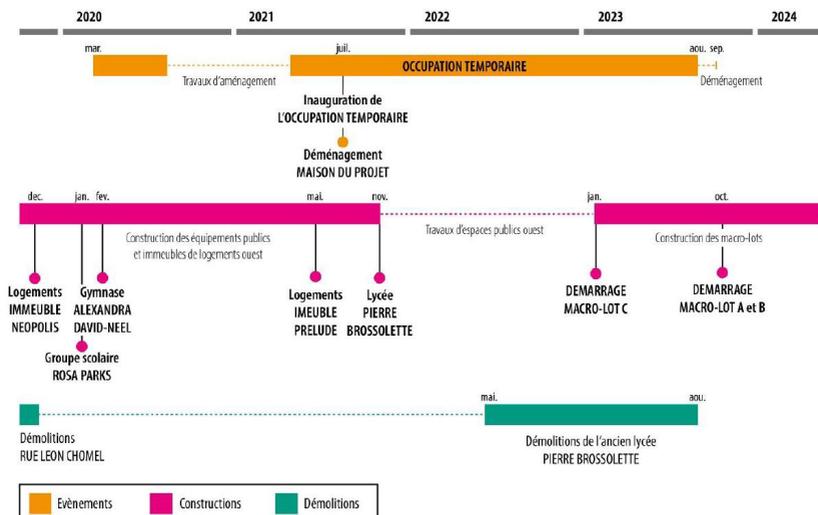
## Calendrier de l'occupation temporaire

Juillet 2019 : lancement de l'appel à projets

Janvier 2020 : réunion de lancement avec les porteurs de projets retenus

Juillet 2021 : ouverture au public

Septembre 2023 : libération des emprises



Calendrier de l'occupation temporaire (© SERL)

## La place de l'EPI au sein de l'occupation temporaire

« L'EPI réunit des acteurs aux profils variés issus du monde du logement social, de l'architecture et de l'économie sociale et solidaire habités par l'envie de construire un lieu commun d'expérimentations d'usages, créatif et évolutif, accessible à tous et évolutif en fonction des envies des habitants.

**Texte de présentation de l'EPI -  
L'Espace de Partage et d'Innovation**

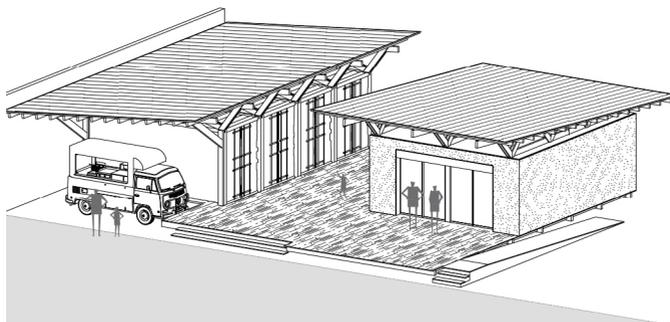
## Le collectif

**Rhône Saône Habitat** : joue le rôle de maître d'ouvrage et réalisera la commercialisation du Macro-lot C de la ZAC Gratte-Ciel Centre-Ville

**Le GIE La Ville Autrement** : coordonne le projet

**Le Collectif Pourquoi Pas !?** : animateur principal dans la démarche de co-construction entre les usagers et les parties prenantes

**Yousta** : gestionnaire du bar et de la micro-distillerie bio et équitable



Axonométrie (© Luc Doin + collectif Pourquoi Pas !?)



*L'occupation temporaire a offert à l'EPI un cadre flexible et un peu moins contraignant que celui des projets permanents. Ce cadre, la durée d'occupation et l'échelle du projet (local < 35 m<sup>2</sup>) ont favorisé au fil des réflexions sur le projet, l'innovation et l'émergence de nouvelles méthodes de construction durables. Ces méthodes pourront peut-être un jour être dupliquées sur des projets de plus grande envergure.*

*Le temps « d'avant-projet » a également permis au GIE et à ses membres (RSH, la SVU et EMH) de préfigurer, avec l'aide du collectif Pourquoi Pas !?, un espace de travail partagé à vocation sociale, ouvert aux habitants et accessible aux associations et petites structures qui peinent à trouver des locaux attractifs en centre-ville. Les résultats obtenus à l'issue de l'expérimentation réalisée sur plusieurs mois pourront servir de démonstration concrète pour convaincre les parties prenantes de la pertinence d'un projet permanent.*

**Samantha Amoroso, chef de projet  
aménagement, GIE La Ville Autrement**



# Fiche d'identité du projet

---

L'EPI est une construction temporaire composée de deux parties principales.

- Un premier volume constitue un espace de travail. Il est construit en paille porteuse avec enduit terre.
- Le second volume est celui de la fabrique à boissons, une micro-distillerie commanditée par Yousta. Elle se compose d'un ensemble de quatre containers maritimes réemployés.

Chacun de ces volumes est abrité par une sur-toiture constituée d'une charpente bois et d'une couverture en bacs acier. Des porte-à-faux respectivement de 3,6 m et 2,4 m offrent des espaces couverts du côté de l'allée piétonne qui forme l'artère principale de l'occupation temporaire. Devant la fabrique à boissons, cet espace est occupé par le camion-bar de Yousta, stationné ici pendant toute la durée de l'occupation.

Les deux éléments sont reliés par une terrasse extérieure en bois surélevée d'une cinquantaine de centimètres par rapport au terrain naturel. Trois marches offrent un accès à la terrasse en partie Est, tandis qu'une rampe permet aux personnes en situation de handicap moteur d'y accéder par l'Ouest du projet.

## Éléments clés

**Situation :** urbaine

**Niveaux :** RDC surélevé

**Surface :** espace de travail chauffé : 34,3 m<sup>2</sup> SHON, fabrique à boissons : 53,1 m<sup>2</sup>

**Surface du terrain concerné par le projet :** 231 m<sup>2</sup>

**Structure :** paille porteuse (espace de travail) et conteneurs maritimes de réemploi (fabrique à boissons), sur-toiture en charpente bois avec couverture en bacs aciers

**Coûts des travaux :** 230 000 € HT env., compris le budget restant prévu pour le démontage

**Honoraires techniques :** 40 000 € HT env.

**Animation du lieu :** 50 000 € HT env.

**Subventions :** aucune, fonds propres de Rhône Saône Habitat

## Acteurs du projet

Maîtrise d'ouvrage : Rhône Saône Habitat, GIE La Ville Autrement

Coordination de l'occupation temporaire : GIE La Ville Autrement

Propriétaire du terrain - aménageur : SERL

Futur preneur distillerie/brasserie : Yousta

Architecte : Luc Doin + collectif Pourquoi Pas !?

Bureau d'études structure : AIS Ingénierie

Bureau d'études QEB : Milieu Studio

Contrôle technique : Qualiconsult

Coordonnateur SPS : LEI

Entreprises : Peix (terrassements – gros-œuvre – VRD) ; Lanzetti (charpente bois - couverture) ; Nebraska (paille porteuse et enduit) ; Home Saphir - Jouassin (menuiseries extérieures) ; Collectif Pourquoi Pas !? (finitions & chantier participatif) ; Capsa (containers transformés) ; L'Electricité (électricité)

## Spécificités d'une opération temporaire

Comme expliqué précédemment, le projet de l'EPI s'inscrit dans la démarche de préfiguration urbaine du projet Gratte-Ciel Centre-Ville. Initié par la SERL, l'idée de ce « Laboratoire Extérieur des Gratte-Ciel » était de rassembler différents acteurs, porteurs de projet, sur le terrain de la ZAC en friche pendant quelques années, entre les démolitions des bâtiments existants et le démarrage des chantiers du projet urbain.

Dans cette optique temporaire, le permis de construire est demandé sous forme d'une autorisation exceptionnelle à titre précaire en application de l'article L.433-1 du code de l'urbanisme : « *Une construction n'entrant pas dans le champ d'application de l'article L. 421-5 et ne satisfaisant pas aux exigences fixées par l'article L. 421-6 peut exceptionnellement être autorisée à titre précaire dans les conditions fixées par le présent chapitre* ».

Le bâtiment est construit pour une durée de moins de deux ans à partir de son ouverture.

Dans ce cadre d'autorisation demandée à titre précaire, pour une durée de moins de deux ans, le projet n'est pas tenu de prendre en compte :

- Certaines dispositions du PLU-H, puisque celui-ci s'applique à la ZAC en devenir (gabarits de construction et volumétries, matériaux et aspects, stationnements, etc.)
- La réglementation thermique

L'aspect provisoire a donc permis de traiter le projet comme un cas particulier. Des contraintes étaient toutefois liées au besoin d'harmonisation au sein de l'occupation temporaire.

« Les ABF (Architectes des Bâtiments de France) avaient des exigences sur l'harmonisation de l'occupation temporaire. Ils voulaient limiter la fragmentation des styles et des matériaux.

*La répartition par lots a été contraignante car tous les occupants n'étaient pas là pour les mêmes raisons et n'avaient pas tous les mêmes contraintes en termes de timing.*

**Amandine Riou,  
collectif Pourquoi Pas !? en phase conception,  
bénévole sur le chantier, adhérente Nebraska**



# Descriptif de l'enveloppe - espace de travail

Les parois sont décrites de l'intérieur vers l'extérieur.

## Mur extérieur paille

- 4 cm minimum d'enduit terre
- 46 cm de paille compressée (bottes posées sur le plat)
- 4 cm minimum d'enduit terre

## Plancher haut

- Panneau médium M1 brut de 1,8 cm
- Panneau OSB de 1,5 cm
- 36 cm d'isolation en ouate de cellulose insufflée, entre poutres bois en I, type Steico
- Panneau de contreventement, type RWH, de 1,6 cm
- Pare-pluie

## Plancher bas

- Parquet chêne réemploi de 2,1 cm
- Panneau OSB de 1,8 cm
- 18 cm d'isolation en ouate de cellulose, entre solives bois massif
- Panneau de contreventement, type RWH, de 1,6 cm

« Pour les planchers haut et bas, il n'y a pas de pare-vapeur devant ou derrière le panneau OSB : le panneau OSB agit comme frein-vapeur. Le panneau côté extérieur est un panneau type RWH, plus ouvert à la vapeur que le panneau OSB, ce qui permet de ne pas bloquer la vapeur dans la paroi. Ceci nous a permis d'éliminer une grande partie du pare-vapeur pour limiter les membranes plastiques.

Pour le plancher haut, la continuité du frein-vapeur est uniquement assurée à la jonction mur/plafond entre l'enduit et le panneau, avec des lanières de pare-vapeur prises dans l'enduit et scotchées sur l'OSB.

Pour le plancher bas, les panneaux sont scotchés entre eux pour assurer la continuité du frein-vapeur, et une lanière scotchée fait la liaison entre le pied de mur et le plancher.

**Luc Doin, architecte, collectif Pourquoi Pas !?**

# Les choix retenus en conception

---

## En fonction des contraintes du site

Sur l'occupation temporaire, le sol n'est pas de très bonne qualité en raison d'actions de démolitions puis de remblayages. Cet état initial du sous-sol demande d'avoir de bonnes fondations. Ainsi, afin de concevoir une construction démontable tout en minimisant l'impact sur le sol, le choix s'est porté sur des plots en béton.

## En fonction des besoins de chacun

### Le choix de la construction modulaire pour la fabrique à boisson

Pour sa micro-distillerie, Yousta souhaitait faire l'acquisition d'un local pérenne. Dans ce contexte particulier d'occupation temporaire, il s'agissait donc de concevoir un local démontable et déplaçable.

Le choix s'est porté sur quatre containers maritimes, assemblés long côté contre long côté. Un premier container accueille la réserve du bar, un second comprend la zone de fermentation, et les deux derniers containers sont accolés pour former la zone de distillation.

Le caractère évolutif de ces modules a amené à prévoir une trappe isolée amovible en toiture du container n°3. Elle permettra l'installation d'un alambic plus important, comprenant une colonne distillation très haute, plus adapté au potentiel développement de l'activité de Yousta.

Ces 4 containers ont été surélevés du sol grâce aux plots béton. Des platines de fixation permettent d'y fixer la charpente en bois qui forme la sur-toiture. Ce type d'assemblage mécanique facilite le démontage de l'ensemble.

La sur-toiture prévoit un débord de 3,35 m sur la façade est, côté circulation piétonne. L'espace couvert ainsi créé permet d'accueillir le camion-bar de Yousta.

Pour l'espace réservé à la distillation – containers n°3 et n°4 – un doublage intérieur est réalisé pour les murs, le sol et le plafond, avec des panneaux sandwich polyuréthane d'une épaisseur de 60 mm (40 mm pour le sol). Cela permet de gérer le passage des réseaux électriques derrière les panneaux sandwich, entre le panneau et la paroi métallique du container.



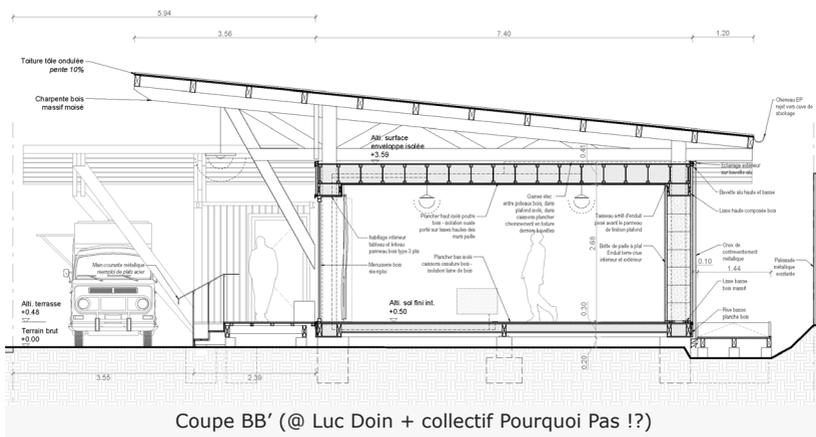
## Le choix de la démontabilité pour l'espace de bureau

Contrairement à la micro-distillerie de Yousta, l'espace de travail n'a pas vocation à connaître une deuxième vie. Il s'agit de construire un local pour un usage associatif le temps de l'occupation temporaire. L'enjeu est donc d'en minimiser l'impact environnemental et d'anticiper au mieux la démontabilité et la fin de vie de l'ensemble de ses composants.

La paille et la terre sont des matériaux réutilisables ou compostables. L'enduit en terre assure une protection aux intempéries moins importante qu'un bardage ou une vêtture, mais ces solutions nécessiteraient l'ajout de matériaux supplémentaires. Il est également possible de prévoir un enduit à la chaux, en terre stabilisée, ou en terre avec finition à la chaux. Mais cela a pour effet de perdre le caractère réversible propre aux enduits à l'argile.

La particularité de l'enduit à base de terre d'argileuse d'être recyclable et réemployable à l'infini est propice au contexte de l'occupation temporaire, pour avoir un bâtiment éphémère qui laisse un impact minime derrière lui. Les scénarios possibles de fin de vie de l'enduit terre et de la paille qui constituent le bâtiment sont, d'après les Règles Professionnelles de la Construction en Paille – CP2012 :

- Enduit terre crue sans adjuvant ou peinture : piquage puis réutilisation après trempage dans l'eau de malaxage, sinon dépose directe dans milieu environnant
- Paille : extraction des bottes entières, sinon démolition ; valorisation agricole (amendement ou litière animale), puis valorisation énergétique



## En considération de l'impact environnemental

### Performances thermiques de l'enveloppe

La réglementation thermique en vigueur à l'époque du dépôt de permis de construire, en juin 2020, était la RT 2012.

Cependant, le projet était prévu pour une durée de moins de deux ans. De ce fait, la réglementation thermique ne s'applique pas, comme explicité dans l'article 1<sup>er</sup> de l'arrêté du 26 octobre 2010 sur la réglementation thermique 2012.

Les performances thermiques de l'espace de travail chauffé n'ont pas pour autant été négligées, s'agissant d'en faire un bâtiment démonstrateur en termes de qualité environnementale et de confort. Ainsi, les performances du bâtiment sont bien supérieures à celles demandées par la RT élément par élément, ou RT simplifiée.

## Mur extérieur paille :

Résistance thermique minimale d'après la RT : 2,9 m<sup>2</sup>.K/W

| MUR PAILLE   | Ep (cm) | λ (W/m.K) | U (W/m <sup>2</sup> .K) | R (m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------|---------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| Enduit terre | 4       | 0,6       | 15,00                   | 0,07                    |
| Paille       | 46      | 0,052     | 0,11                    | 8,85                    |
| Enduit terre | 4       | 0,6       | 15,00                   | 0,07                    |
|              |         |           | <b>0,11</b>             | <b>8,98</b>             |

+ Prise en compte sécuritaire de 5 % de la paroi constituée de montants bois, pour les fixations des menuiseries extérieures.

Etant donné le système constructif et la finition enduit terre, il n'y a pas de pont thermique de fixation à prendre en compte.

## Toiture terrasse :

Résistance thermique minimale d'après la RT : 3,3 m<sup>2</sup>.K/W

| PLANCHER HAUT      | Ep (cm) | λ (W/m.K) | U (W/m <sup>2</sup> .K) | R (m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------------|---------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| Panneau medium     | 1,8     | 0,18      | 10,00                   | 0,10                    |
| Panneau OSB        | 1,5     | 0,13      | 8,67                    | 0,12                    |
| Ouate de cellulose | 36      | 0,04      | 0,11                    | 9,00                    |
| Panneau RWH        | 1,6     | 0,10      | 6,25                    | 0,16                    |
|                    |         |           | <b>0,11</b>             | <b>9,38</b>             |

+ Prise en compte sécuritaire de 10 % de la paroi constituée de montants bois, pour les solives.

Traitement des ponts thermiques au-dessus et entre solives par remplissage d'isolant en vrac (voir partie sur le « Traitement des ponts thermiques » en page 43).

## Plancher bas :

Résistance thermique minimale d'après la RT : 2,7 m<sup>2</sup>.K/W

| PLANCHER BAS       | Ep (cm) | λ (W/m.K) | U (W/m <sup>2</sup> .K) | R (m <sup>2</sup> .K/W) |
|--------------------|---------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| Parquet bois       | 2,1     | 0,18      | 8,57                    | 0,12                    |
| Panneau OSB        | 1,5     | 0,13      | 8,67                    | 0,12                    |
| Ouate de cellulose | 18      | 0,04      | 0,22                    | 4,50                    |
| Panneau RWH        | 1,6     | 0,10      | 6,25                    | 0,16                    |
|                    |         |           | <b>0,20</b>             | <b>4,89</b>             |

+ Prise en compte sécuritaire de 13 % de la paroi constituée de montants bois, pour les solives.

Les ponts thermiques dus aux lambourdes sont négligés dans le calcul.

## Confort d'été

Pour l'espace de travail, deux brasseurs d'air - modèle HTB-140 RC de S&P - ont été mis en œuvre au plafond, afin d'assurer le confort d'été :

- Puissance : 50 W
- Gestion par télécommande, 3 vitesses
- Vitesse de l'air : 1,8 m/s
- Puissance acoustique maxi : 52 dB

## Ventilation

La distillerie comprend un module d'extraction d'air en façade ouest. La VMC permet ici d'extraire l'air vicié pour assurer le bon renouvellement de l'air dans le local destiné à la préparation de boissons.

Concernant le local de travail, il n'y avait pas d'obligation réglementaire pour celui-ci d'avoir un système de ventilation, car plusieurs conditions étaient réunies : surface réduite, nombre de personnes limité, absence de local de sommeil.

En contrepartie, une sonde CO<sub>2</sub> a été prévue, permettant de donner un indicateur de confinement de l'air intérieur pour que les usagers puissent ventiler quand nécessaire.

## Réemploi

Le choix de matériaux biosourcés (voir ci-après) et la mise en œuvre de matériaux de réemploi ont permis de limiter l'impact environnemental de l'EPI.

Les éléments issus de filières de réemploi ciblés dès la conception sont :

- Les containers maritimes
- La tôle pour la toiture
- Les menuiseries
- Le plancher bois de l'espace de travail
- Le platelage bois de la terrasse extérieure

Le dossier de permis de construire a été réalisé en laissant une part de flexibilité quant aux teintes définitives et autres caractéristiques de certains éléments prévus en réemploi, afin de pouvoir adapter le projet en fonction du gisement disponible au moment du chantier.

« Les toitures des deux bâtiments seront constituées d'une charpente en bois, laissée brute, ainsi que d'une couverture en bac acier réemployé. La teinte exacte de ces éléments de couverture sera donc déterminée en fonction des gisements de réemploi disponibles. Les menuiseries seront en bois et préférentiellement réemployées. Les dimensions indiquées sur les documents graphiques sont standards mais pourront être légèrement adaptées en fonction des gisements de réemploi identifiés. Les tableaux de ces menuiseries ainsi que le soubassement du bâtiment seront en bois, teinte naturelle.

**Luc Doin, architecte, collectif Pourquoi Pas !?,  
dossier de permis de construire, PC.04 – Notices**

### Matériaux réellement réemployés :

- Quatre containers 20 pieds (2,44 m de large x 6 m de long) en fin de vie
- 34 m<sup>2</sup> de parquet massif chêne, issus du parc immobilier du maître d'ouvrage
- 65 m<sup>2</sup> de platelage bois de terrasse, sourcés par le collectif Pourquoi Pas !?
- Deux ensembles de menuiseries vitrés de 1,30 m x 2,30 m, issus du stock de l'entreprise, et complétés par une partie neuve (une adaptation du découpage des baies à ce gisement a été nécessaire)

### Réemploi abandonné :

- Bac acier en toiture : une tôle ondulée neuve a été mise en œuvre. Le gisement de réemploi existait, mais les solutions de démontage + stockage étudiées étaient trop coûteuses.

« Le réemploi a permis une économie budgétaire, plus ou moins importante selon les lots concernés : containers, platelage terrasse, parquet intérieur, menuiseries extérieures.

*Nous n'avons pas réussi à concrétiser l'intention là où le réemploi ne permettait pas d'économie.*

*Le principal frein au réemploi a été celui du stockage de potentiels gisements.*

*La volonté de certaines entreprises de travailler avec du réemploi a représenté une force, et la nature provisoire du projet a été un réel atout pour lever certains obstacles, notamment assurantiels et normatifs.*

**Luc Doin, architecte, collectif Pourquoi Pas !?**

## Récupération des eaux pluviales

Parmi les projets de l'occupation temporaire, celui de la parcelle voisine, portée par SCE, propose une expérimentation d'agriculture urbaine. Le projet « Gratte-Terre » vise à reconstruire la fertilité d'une terre urbaine inerte par des apports de composts et des cultures permettant de redonner de la vie au sol. Ainsi, un jardin de 1 000 m<sup>2</sup> s'est créé au nord de l'EPI.

Le projet de l'EPI fonctionne avec celui de « Gratte-Terre » en lui fournissant de l'eau à destination de l'arrosage des plantations.

Le plan de masse de l'EPI présente 220 m<sup>2</sup> de toiture en tôle. Le rejet des eaux pluviales au réseau public est proscrit par le Plan Local d'Urbanisme afin d'éviter celui-ci ne soit saturé et ne déborde en cas d'orage avec pluies torrentielles. Il n'est pas non plus possible d'infiltrer les eaux pluviales sur la parcelle puisque le terrain comprend des terres polluées.

Ainsi, le choix de récupérer les eaux de pluie pour une utilisation au profit de la parcelle voisine permet une gestion raisonnée de la ressource à l'échelle de l'occupation temporaire. Pour cela, chaque pan de sur-toiture comprend un cheneau EP en partie basse, avec rejet vers une cuve de stockage. Deux cuves de récupération sont prévues à cet effet : une cuve sur la parcelle de l'EPI, pour la partie « micro-distillerie », et une cuve sur la parcelle Gratte-Terre voisine, déjà existante et déplacée en limite de propriété.

# Organisation générale du chantier

## Planning

Afin de répondre aux enjeux de l'occupation temporaire, l'enjeu était de construire un bâtiment rapidement.

Une première phase, d'une durée d'un mois, a consisté à la mise en place des réseaux et fondations permettant d'accueillir les deux volumes du projet. La pose des containers s'est ensuite faite en deux jours.

Enfin, trois mois ont été nécessaires pour faire sortir de terre le reste de l'opération, avec la mise en œuvre de la charpente bois, du volume construit en paille porteuse et de la terrasse en bois.

|   | Janvier |    |    |    | Février |    |    |    | Mars |    |    |    | Avril |    |    |    | Mai |    |    |    | Juin |    |    |    |    |    |  |  |
|---|---------|----|----|----|---------|----|----|----|------|----|----|----|-------|----|----|----|-----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|--|--|
|   | 03      | 10 | 17 | 24 | 31      | 07 | 14 | 21 | 28   | 07 | 14 | 21 | 28    | 04 | 11 | 18 | 25  | 02 | 09 | 16 | 23   | 30 | 06 | 13 | 20 | 27 |  |  |
| <b>PHASE 1 :</b>                        |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Fondations - VRD - gros-œuvre         | ■       | ■  | ■  | ■  |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Pose containers + installation Yousta |         |    |    |    | ★       |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
|   |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| <b>PHASE 2 :</b>                        |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Bois : charpente + couverture         |         |    |    |    |         |    |    |    |      | ■  | ■  |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Paille                                |         |    |    |    |         |    |    |    |      | ■  | ■  | ■  | ■     | ■  | ■  |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Séchage minimal des enduits           |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    | ■    | ■  |    |    |    |    |  |  |
| * Gros-œuvre : sols extérieurs          |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Bois : terrasse + accès               |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Menuiseries                           |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Finitions                             |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| <b>RECEPTION :</b>                      |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * OPR                                   |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Réception                             |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
| * Levée des réserves                    |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |
|   |         |    |    |    |         |    |    |    |      |    |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |    |  |  |

## La mise en place d'un « chantier-formation »

Nebraska est la seule structure à avoir une assurance décennale pour construire en paille porteuse en France. Il n'existe pas d'école pour apprendre cette technique constructive, d'où l'intérêt de mettre en place un chantier ouvert au public, un « chantier-formation », afin de démocratiser la technique et de partager les savoirs.

Ainsi cela contribue au développement de la filière : quelques personnes sachantes encadrent une équipe de personnes volontaires pour leur transmettre les gestes et les compétences. En se développant, la filière a l'avantage de créer des emplois qualifiés, non délocalisables.

Ce chantier participatif a été organisé par le collectif Pourquoi Pas !? sur quatre semaines, du 14 mars au 8 avril 2022, avec l'encadrement technique de Nebraska pour la mise en œuvre.



Chantier école et sensibilisation

## Planning du chantier participatif

### Chantier Paille Porteuse (murs)

Du 14 au 18 mars / 12 personnes maximum

- Préparation et pose des bottes
- Pose des lisses
- Compression des murs
- Dressage des murs

### Chantier Charpente Bois

Du 21 au 25 mars / 7 personnes maximum

- Pose des solives
- Insufflation de la ouate de cellulose
- Bavette en pied de mur
- Etanchéité à l'air, etc.

## Chantier Enduits Terre

Du 28 mars au 8 avril / 12 personnes maximum

- Préparation des mélanges
- Préparation des murs à recevoir l'enduit
- Pose de la barbotine
- Pose de l'enduit de corps
- Dressage



Chantier participatif (© collectif Pourquoi Pas !?)



*Le but d'un chantier participatif comme celui de l'EPI est d'initier, plus que de donner des savoir-faire. L'encadrement technique de Nebraska permet une bonne transmission des connaissances.*

*Ce qui m'a marqué sur le chantier de paille porteuse, c'est l'ambivalence qu'il a entre le besoin d'être précis et de tenir les délais (et donc de ne pas trop être perfectionniste). Il faut être bien encadré au début puisque la paille est un matériaux brut qu'il faut apprendre à voir et à appréhender pour comprendre comment travailler la matière le plus précisément possible.*

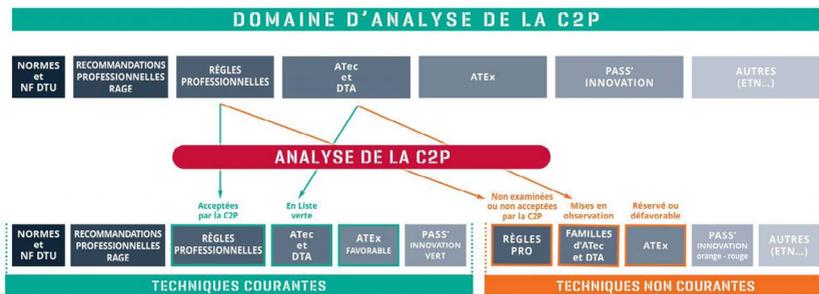
**Amandine Riou,  
collectif Pourquoi Pas !? en phase conception,  
bénévole sur le chantier, adhérente Nebraska**



# La paille porteuse

## Cadre normatif existant de la construction paille

Depuis 2012, la construction paille fait l'objet d'un cadre normatif : celui des Règles professionnelles.



Les Règles professionnelles sont écrites par des acteurs d'une filière pour retranscrire leurs savoir-faire et compétences. Elles permettent de dresser les bonnes pratiques et recommandations pour la mise en œuvre de techniques constructives jusqu'alors considérées comme « non courantes », hors du cadre traditionnel, selon la « Commission Prévention Produit mis en œuvre » (C2P). Cette commission, qui rassemble assureurs et experts, a pour mission la prévention des désordres liés aux produits et aux procédés ainsi qu'aux textes qui définissent leur mise en œuvre. C'est un outil d'analyse développé par l'Agence Qualité Construction (AQC).

Lorsque des Règles professionnelles sont rédigées, elles peuvent alors faire l'objet d'une analyse de la C2P. À partir du moment où la C2P valide les textes, cela signifie que les risques sont modérés dans le cas où les règles en question sont suivies. Les techniques décrites basculent alors dans la catégorie des « techniques courantes » et peuvent être réalisées sans besoin d'avertir son assureur en amont, ni d'avoir à payer de surprime.

En 2012, la C2P a validé les Règles professionnelles de la construction paille (Règles CP 2012) écrites par les acteurs de la filière construction paille. Il est aujourd’hui possible de construire en paille, selon les Règles CP 2012, sans en avoir averti son assureur.

## Les Règles professionnelles 2012 et la paille porteuse

La paille porteuse est hors du champ d’application des Règles CP 2012. Celles-ci concernent l’utilisation de bottes de paille en remplissage d’ossature pour les bâtiments situés en France métropolitaine, dont le plancher le plus haut est inférieur à 8 m, et de type : logements, locaux commerciaux, lieux de travail ou bâtiments agricoles.

Cependant, de nombreuses préconisations décrites dans les Règles CP 2012 peuvent être suivies pour la réalisation d’ouvrages en paille porteuse.

Au-delà des caractéristiques structurelles qui sont spécifiques au système constructif choisi, des points de vigilance sont à observer dans la mise en œuvre de bottes de paille en construction concernant :

- Le niveau de performances thermiques
- Le niveau de performances acoustiques
- La protection au feu
- Le maintien de l’étanchéité à l’eau
- Le maintien de l’étanchéité à l’air
- La sensibilité à l’eau
- La maîtrise des transferts de vapeur d’eau des parois

Ainsi, une bonne conception du projet doit être couplée à un suivi de chantier pointu, avec une attention toute particulière à porter à l’interaction entre les différents lots.

## Assurance RC décennale

Le contexte même du « Laboratoire Extérieur des Gratte-Ciel » est dédié à l'innovation. Ainsi, l'EPI tient le rôle de bâtiment démonstrateur, destiné à promouvoir des techniques de construction alternatives.

Il s'agit d'un rare exemple d'établissement recevant du public construit en paille porteuse en France (voir la partie « Panorama de quelques établissements recevant du public construits en paille porteuse » en page 36). Dans le cas de l'EPI, la construction est couverte par une assurance décennale, ce qui est d'autant plus exceptionnel. L'assurance responsabilité civile et décennale concerne les professionnels de la construction et du bâtiment. La paille porteuse n'étant pas reconnue comme technique courante, son assurabilité demande une attention toute particulière de la part de l'ensemble des acteurs et une discussion avec l'assureur.

« Il y a eu une surprime. L'assureur a d'abord vérifié que nous avions de l'expérience et que nous maîtrisons techniquement le sujet ainsi que les risques, principale préoccupation pour celui-ci.

L'assureur nous enjoint à poursuivre notre travail sur les Règles professionnelles paille porteuse pour que cette technique passe en technique courante rapidement. L'enjeu de la parution de Règles professionnelles pour un assureur est de pouvoir s'appuyer sur des textes et des prescriptions en cas de sinistre. L'assurance nous est accordée car ils ont compris que c'est indispensable pour le développement de la filière.

**Mathilde Lapierre,** >>  
**Architecte charpentière, Nebraska**

## Assurance dommage-ouvrage

L'assurance dommage-ouvrage destinée au maître d'ouvrage est une garantie liée à une construction et à un site. En ce sens, elle n'est pas obligatoire pour une construction provisoire.

« Nous n'avons pas souscrit d'assurance dommage-ouvrage car il s'agit d'un ouvrage éphémère. S'il avait fallu souscrire une assurance dommage-ouvrage (en cas d'ouvrage non provisoire), il n'aurait pas été facile de l'obtenir car les murs en paille relèvent d'une technique non courante (hors DTU – nécessite un avis technique). Dans ce cas, les assureurs demandent « une assurance nominative chantier » à la maîtrise d'œuvre et à l'entreprise. Avec ces éléments, l'assureur dommage-ouvrage applique une surprime qui est calculée en fonction du risque, évaluée par l'assureur.

**Valérie Martos Libon, manager de projets,** **Rhône Saône Habitat**

## Hygrométrie

La sensibilité à l'eau est un point essentiel à prendre en compte lorsque l'on travaille avec de la paille et avec des produits biosourcés de manière générale. Une botte de paille doit être suffisamment dense (entre 80 et 120 kg/m<sup>3</sup>), mais surtout suffisamment sèche pour être mise en œuvre. Sa teneur en eau sur poids sec de la paille doit être inférieure à 20%.

Cette mesure peut se faire à l'aide d'un appareil de mesure d'humidité pour foin et paille.



Contrôle humidité (© Nebraska)

Entre la livraison et la mise en œuvre, un point de vigilance tout particulier est à respecter concernant le stockage. Les bottes doivent être posées avec un dispositif permettant d'éviter le contact direct avec le sol, et protégées des intempéries pendant toute la phase du chantier.

Ici, la sur-toiture de l'EPI permet de conserver la paille à l'abri de la pluie. Les bottes sont posées sur des palettes en bois afin d'éviter les remontées d'humidité du sol.



De nombreuses autres préconisations de conception et de mise en œuvre sont décrites dans les Règles professionnelles pour gérer les risques liés à l'eau, sous forme liquide (ruissellement, rejaillissement, remontées capillaires, infiltrations, etc.) mais également sous forme de vapeur, pour en maîtriser les transferts et ainsi limiter les risques de condensation dans les parois.

Ces risques sont pris en compte par de larges débords de toiture, pour ce bâtiment d'une hauteur limitée (un seul niveau). Les plots permettent de surélever l'ouvrage par rapport au terrain naturel. Sur les parties concernées par la présence de la terrasse, le banc en bois protège le pieds de façade des rejaillissements. Une bande d'arase entre le plancher bas et les plots béton permet de créer une rupture capillaire.

Concernant les transferts de vapeur d'eau dans la paroi, les bottes de paille sont enduites. Le transfert peut se faire par migration capillaire, sans rupture par une lame d'air non ventilée ou un frein vapeur.

« La composition de la paroi est un enjeu majeur pour la durabilité du bâtiment. On retrouve dans les Règles CP 2012 des règles de composition de la paroi en fonction de la perméabilité du matériau employé.

**Mathilde Lapierre,**   
**Architecte charpentière, Nebraska**

Les Règles CP 2012 donnent les principes suivants :

- Le parement extérieur doit être ouvert ( $S_d \text{ ext.} < 1 \text{ m}$ )
- Les points singuliers propices à une condensation due aux ponts thermiques doivent être bien gérés
- La résistance à la vapeur d'eau doit être décroissante de l'intérieur vers l'extérieur ( $S_d \text{ ext.} < S_d \text{ int.}$ )

Dans la dernière édition des Règles professionnelles, une mise à jour détaille les différents cas de figure et précise les règles à respecter en fonction.

## Risque incendie

Comme pour toute construction, la sécurité incendie est à prendre en compte dans le cadre d'une construction en paille. Cependant, le risque feu est relativement limité, contrairement à une idée reçue. Pour brûler, la paille a besoin d'un comburant : l'air. Dans le cas de la construction en paille, les bottes sont denses et compressées. Il n'y a donc que très peu d'air entre les tiges sèches qui constituent la botte.

Toutefois, dans le cadre de l'EPI, du fait du caractère innovant de projet d'ERP de 5<sup>ème</sup> catégorie, un test au feu aurait pu être requis. Finalement, ce test n'a pas été réalisé pour le projet, car d'autres tests avaient déjà été réalisés et pouvaient faire foi.

**En termes de risque feu, il n'y a pas eu de freins à la construction de l'EPI grâce aux connaissances déjà établies sur les sujets suivants :**

### Réaction au feu

Elle concerne l'échelle du produit et représente la manière dont un matériau va se comporter comme combustible. Elle caractérise l'inflammabilité des matériaux, c'est-à-dire leur capacité à alimenter le feu et à favoriser son développement.

Le rapport d'extension n° 404/19-360-6 du 10 décembre 2020, qui complète celui de février 2006 XP CEN/TS 15117, réalisé par le FCBA à la demande du RFCP, concerne la **RÉACTION AU FEU du produit « murs en bottes de paille (blé ou riz) enduit (chaux ou terre) »**, selon la méthode d'essai NF EN ISO 1716.

Ce rapport d'essai donne au produit concerné un classement de réaction au feu **B - s1, d0** :

- Un comportement au feu B signifie que le produit est faiblement combustible (un produit classé A est non combustible et un produit classé E est très inflammable et propagateur de flamme)
- Le classement complémentaire en relation avec la production de fumée s1 (« s » pour « smoke ») caractérise un produit qui dégage peu de fumée lors de sa combustion (quantité et vitesse de dégagement faible)
- Le classement complémentaire en relation avec les gouttelettes/particules enflammées d0 (« d » pour « drop ») indique que le produit n'engendre aucune goutte ou débris enflammé lors de sa combustion

## Résistance au feu

Elle considère l'échelle de l'élément et correspond à la capacité de cet élément à conserver ses propriétés en présence d'un incendie, pendant un temps donné.

Le rapport d'essai n° 014087, publié le 31 janvier 2020 par le CERIB, réalisé à la demande de la Ville de Rosny-sous-Bois, donne les conclusions d'un **essai de RÉSISTANCE AU FEU d'un mur porteur en bottes de paille enduit en faces exposées et non exposées au feu**.

D'après cet essai sur un élément de mur en paille porteuse avec faces enduites, relativement semblables aux éléments constitutifs du local de travail de l'EPI, celui-ci conserve ses performances pendant **122 minutes** sans échec, soit plus de 2h, en termes de :

- Capacité portante (R)
- Étanchéité aux flammes et gaz chauds (E)
- Isolation thermique (I)

Un REI > 120 permet de répondre largement aux exigences de la plupart des ERP en termes de résistance au feu.

## Propagation du feu en façade

Pour aller plus loin, citons l'essai LEPRI II réalisé en 2009 par le CSTB et le bureau d'étude Gaujard Technologies SCOP pour évaluer l'indice C+D qui correspond au risque de propagation du feu en façade, d'un étage à un autre (échelle bâtiment).

Les résultats sont bons puisque les conclusions donnent conformité aux exigences de la résistance au feu de la façade testée, correspondant à celle d'un ERP. Cependant, ces résultats ne vont pas nous intéresser dans le cas de l'EPI. Le bâtiment ne comprend qu'un seul niveau et n'est donc de fait pas concerné par le risque de propagation du feu en façade.

## Risque de départ de feu sur chantier

Le risque feu est surtout présent sur le chantier. S'il n'est pas balayé régulièrement et qu'il y a une forte présence de paille en vrac, il peut alors y avoir un risque de départ de feu.

Ce risque est limité par une pédagogie adaptée et un encadrement suffisant des personnes présentes sur le chantier, avec la réalisation d'un balayage régulier et la tenue d'un chantier « propre ».

## La paille porteuse, qu'est-ce que c'est ?

### Historique

L'histoire de la paille dans la construction commence au XIX<sup>e</sup> siècle dans les plaines du centre-nord des Etats-Unis. En l'absence de matériaux de construction « classiques », les pionniers ont commencé à construire avec une ressource présente à portée de main. Avec l'arrivée des premières botteleuses, la botte de paille est alors utilisée dans la construction : maisons individuelles, écoles, églises. Dans le cas de la paille porteuse, ce sont les bottes qui assurent la structure, en plus de leur rôle d'isolation thermique et de support d'enduit. C'est donc une bonne solution pour pallier au manque de matériaux de construction de ces plaines désertes.

## Performances thermiques

La paille a de bonnes propriétés d'isolant thermique. Sa conductivité thermique dépend du sens de bottelage :

- Canal central : le lambda est de 0,052 W/m.K
- Canal latéral : le lambda est de 0,08 W/m.K

Du fait des épaisseurs conséquentes de la botte de paille (46 cm posée à plat ou 36 cm posée sur chant), les murs en pailles bénéficient d'une résistance thermique importante, dépassant les 7 m<sup>2</sup>.K/W.

La paille reste dense pour un isolant (80 à 120 kg/m<sup>3</sup>) et bénéficie ainsi d'une capacité thermique massique élevée. Cela impacte le confort intérieur puisque la capacité thermique intervient dans les calculs de la diffusivité thermique et de l'effusivité thermique, les deux grandeurs essentielles pour quantifier l'inertie thermique.

À cela s'ajoute le caractère hygroscopique de la paille, qui permet de réguler le confort hygrothermique des espaces intérieurs.

La combinaison paille-enduit terre est ici optimale. L'enduit est complémentaire à la paille car ouvert à la diffusion de vapeur. Il joue également un rôle de régulateur hygrothermique, à changement de phase. À cela s'ajoute une capacité à stocker des calories, participant à l'inertie thermique.

## Performances acoustiques

La question de l'acoustique se gère par le respect de quelques principes de base :

- Les bottes sont posées à plat, ce qui offre une épaisseur généreuse au mur (46 cm)
- Chaque nouvelle rangée de botte est posée en quinconce de la précédente afin de décaler les joints
- Les interstices résiduels sont bouchés avec de la paille en vrac
- Les bottes sont protégées par un revêtement, à base de terre argileuse, en intérieur comme en extérieur

Le dernier point est important pour bénéficier de l'effet « masse – ressort – masse », la paille ayant une masse volumique limitée pour permettre un affaiblissement acoustique optimal.

## Qualité environnementale

« En France, 50 millions de tonnes de paille sont produites chaque année. 34 millions sont utilisées pour l'élevage, 11 millions pour l'amendement des sols et 5 millions restent inexploitées.

En construction, 5 000 tonnes sont utilisées par an, ce qui représente 500 constructions, surtout en remplissage d'ossatures. On peut donc multiplier par 1 000 la construction en paille en France.

Les Règles professionnelles permettent d'acheter la botte auprès du monde agricole et de la caractériser sur chantier pour une utilisation dans la construction.

**Cédric Hamelin, architecte chercheur,  
président de Nebraska** »

La paille est une ressource renouvelable et disponible. Il s'agit d'un co-produit de l'agriculture : la paille de céréale utilisée en construction correspond à la tige sèche d'une céréale dépouillée de ses épis. D'après l'étude Terracrea<sup>1</sup> qui prospecte sur le développement des matériaux biosourcés à l'horizon 2050, la disponibilité en paille de céréales est globalement non limitante tant qu'elle est un co-produit de l'agriculture. Elle peut se substituer largement à d'autres isolants conventionnels sans générer de tension avec d'autres filières et sans causer de préjudice à la fertilité des sols ni à l'intégrité des agroécosystèmes. Il faut cependant prendre en compte le caractère irrégulier de la disponibilité annuelle, qui peut générer des tensions conjoncturelles les mauvaises années et selon les territoires. Il faut également aider la filière à se développer pour assurer l'accès à la ressource.

---

<sup>1</sup> Matériaux de constructions biosourcés, ressources agricoles et forestières. Etat des lieux, prospectives et propositions à l'horizon 2030-2050. Auteurs : Pierre Besse, Luc Floissac, Hans Valkhoff (LRA – Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse), Sylvain Angerand, Franck Chaumartin (Les Amis de la Terre – France). Septembre 2014

Ce même rapport fait apparaître des tensions concernant l'utilisation du bois, entre le bois construction, le bois industrie issu de la trituration et le bois énergie. Les différents scénarios envisagés par l'étude estiment que le développement de l'usage du bois en construction se fera avec une part d'importation, notamment en ce qui concerne les résineux.

Le choix d'un système constructif en paille porteuse permet de limiter l'utilisation de bois en s'affranchissant de la constitution d'une ossature, puisque c'est la botte qui remplit la fonction structurelle. La paille porteuse consomme ainsi 2,5 à 4,5 fois moins de bois qu'une ossature bois, ce qui permet de se concentrer sur la ressource paille disponible localement.

« Si on compare 1 m<sup>2</sup> de paille à 1 m<sup>2</sup> de mousse polyuréthane (à résistance thermique équivalente) :

- Consommation d'énergie non renouvelable = 10 533 fois moins
- Pollution de l'air = 1 266 fois moins
- Potentiel de formation d'ozone = 30 fois moins
- Potentiel d'acidification des sols et de l'eau = 4 fois moins
- Pollution de l'eau = 4 fois moins

Nebraska »

## Panorama de quelques établissements recevant du public construits en paille porteuse

### Local commun des Jardins de la Providence

#### Paille porteuse sous auvent « parapluie » en structure bois

Bourg-en-Bresse (01) – juillet 2012

Programme : salle de réunion, local de stockage, terrasse abritée

Surface : 55 m<sup>2</sup> SHOB

Coût : 70 911 € HT

- Maîtrise d'ouvrage : Ville de Bourg-en-Bresse
- Maîtrise d'œuvre : Vincent Rigassi (architecte mandataire) ; Archibulle (architecte associé) ; Bois Gaujard Technologies (BE paille) ; ADF (BE fluides)



Local commun des Jardins de la Providence (© Rigassi Architecte ; Philippe Hervouet ; Claude Van Ryssel pour le Photo Club Bressan)

## Toilettes publiques construites en chantier participatif

### Paille porteuse

Fontaine (38) – juin 2014

**Programme** : espace commun, casiers individuels, toilettes sèches PMR, pergola

**Surface** : 50 m<sup>2</sup> SHOB

**Coût global** : 80 000 € HT

- **Maîtrise d'ouvrage** : Ville de Fontaine
- **Maîtrise d'œuvre** : Landfabrik (architecte, paysagiste, structure) ; les Alvéoles (paysagiste associé)



Toilettes publiques à Fontaine (© Landfabrik)

## L'école des Boutours 2

### Ossature bois et isolation paille de 37 cm + Murs en paille porteuse de 50 cm

Rosny-sous-Bois (93) – 2017

**Programme** : école maternelle de 9 classes et équipements annexes : office, réfectoire, logement de gardien

**Surface** : 2 000 m<sup>2</sup>

**Coût** : 6 268 830 € HT espaces verts compris

- **Maîtrise d'ouvrage** : Ville de Rosny-sous-Bois ; Tribu (AMO environnement)
- **Maîtrise d'œuvre** : Architectes de la ville de Rosny-sous-Bois / Emmanuel Pezrès et Fanny Mathieu, ingénieurs de la Ville de Rosny-sous-Bois
- **Entreprise bois/paille** : APIJ Bat ; Méha Charpente

*Bâtiment finaliste du FIBRA Award*



Ecole des Boutours 2 (© Ville de-Rosny-sous-Bois)

# Mise en œuvre de la paille porteuse sur le chantier de l'EPI

## Les fondations

Comme expliqué plus tôt, le choix de fondations en plots bétons s'explique par le contexte de l'occupation temporaire (état initial du sol et caractère temporaire de la construction).

Des trous ont été creusés dans le sol et remplis de béton pour former des plots, surmontés d'un bloc aggloméré permettant d'accueillir la construction.



## La dalle de bois préfabriquée

Sur ces plots, une dalle de bois préfabriquée en atelier a été posée. Amenée en plusieurs morceaux, cette dalle a ensuite été assemblée sur site. Le choix de la préfabrication a permis de la pré-isoler en atelier par un remplissage en ouate de cellulose. Le passage de gaines est anticipé afin de faire passer les réseaux dans l'épaisseur du plancher, dans l'isolant.

Cette dalle posée sur les plots permet d'avoir un rez-de-chaussée surélevé, avec un niveau fini de 50 cm par rapport au terrain naturel brut.



## Les murs en paille porteuse

Les bottes de paille sont posées sur le plat, en quinconce. Il n'y a pas de liant pour les maçonner. Des pieux en bois sont réalisés à partir de manches à balai taillés en pointe, fixés sur la lisse basse primaire, pointe vers le haut. Cela permet alors de brocher le premier rang de bottes sur les pieux et d'en assurer ainsi la stabilité, à raison de deux pieux prévus par botte.

Les rangs suivants sont empilés, toujours avec les joints croisés pour assurer la solidité du mur. Au 4<sup>ème</sup> rang, des pics de 1,2 m sont plantés au maillet afin d'embrocher les quatre rangées.

Le mur complet compte une hauteur de sept bottes de paille. Le principe de la paille porteuse en petites bottes est de compresser les bottes de paille pour assurer une stabilité. Pour ce faire, une lisse haute est posée sur l'arase des murs. Les sangles en attente sont alors accrochées sur cette lisse haute, permettant alors de compresser l'ensemble composé des sept rangées de bottes à l'aide de sangles à cliquets. Ces dernières sont ensuite remplacées par des sangles définitives.



Pour les menuiseries, le tableau et linteau en panneau de bois OSB sont prévus en amont de la pose des bottes.

D'autres éléments sont à anticiper lors de la réalisation du mur en paille porteuse. Pour la pose murale des deux radiateurs électriques, des liteaux de fixation sont à prévoir, intégrés dans la paille, côté intérieur du mur.

## Les enduits terre

Comme évoqué plus tôt, le choix de l'enduit a contribué à la mise en œuvre d'un système réversible tout en facilitant la mise en place d'un chantier-formation, permettant d'impliquer de nombreuses personnes pas forcément averties sur le sujet.

L'enduit terre apporte également différentes qualités nécessaires à la bonne tenue du bâtiment dans le temps et à sa performance finale :

- Protection mécanique
- Protection de retard au feu
- Protection à l'eau liquide
- Étanchéité au passage d'air
- Frein-vapeur
- Participation à l'isolation acoustique (en intérieur)
- Tampon hygrométrique : permet de maîtriser le confort des ambiances intérieures

Les enduits terre sont protégés en pied de façade par la réalisation d'un soubassement sous forme de bancs en bois. Celui-ci permet d'offrir des assises aux usagers de la terrasse.

En intérieur, une plinthe quart de rond bois massif protège l'enduit.

Les conditions météorologiques sont à prendre en considération pour planifier la réalisation des enduits, le but étant d'écarter le risque de gel. Pour l'EPI, ils ont été réalisés entre le 28 mars et le 8 avril.

Pour garantir le séchage de l'enduit et son durcissement, il faut veiller à le protéger des intempéries et assurer une bonne aération du chantier du volume intérieur.



Réalisation des enduits terre sur bottes de paille

« La paille est un matériau particulier à travailler. L'enjeu est de prendre en compte sa provenance et les spécificités du lot utilisé pour anticiper les complexités possibles à la mise en œuvre. Il faut savoir quand faire la vérification pour être précis et efficace. Les contrôles se font de manière assez empirique. On voit la matière prendre forme. On vérifie le niveau des premiers rangs puis l'aplomb assez rapidement pour vérifier que les premières lignes sont droites. L'important est d'arriver à l'aplomb de solive à solive.

Concernant l'enduit en terre, le choix a été fait de ne pas appliquer d'enduit de finition par souci d'économie de temps et de main-d'œuvre. Une barbotine (mélange d'eau et d'argile – couche très fine) est appliquée sur la paille pour donner une accroche. La finition sur ce projet a été ensuite réalisée par l'enduit de corps, qui a une bonne épaisseur. Cela représente un travail très physique qui demande de la technicité.

**Amandine Riou,**  
**collectif Pourquoi Pas !? en phase conception,**  
**bénévole sur le chantier, adhérente Nebraska**

## Traitement des ponts thermiques

Pour éviter les points thermiques au niveau de la lisse haute, celle-ci est remplie de chènevotte. La chènevotte est la partie ligneuse du chanvre, qui subsiste après que l'on ait enlevé la filasse. Elle est utilisée en construction pour ses propriétés de remplissage isolant, sous forme de béton – mélangée à un liant tel que la chaux – ou en vrac, comme c'est le cas ici.

Le solivage, qui est posé sur la lisse haute afin de composer le plafond du volume construit, est quant à lui rempli de ouate de cellulose insufflée. Contrairement au plancher bas préfabriqué, pour le plancher haut, l'insufflation se fait sur site, à l'aide d'un outil spécifique appelé « souffleuse » ou « cardeuse ». L'insufflation de l'isolant est réalisée à la densité voulue et le remplissage complet du caisson est effectué lorsque le produit déborde des ouvertures provisoires et que l'isolant ne circule plus dans le tuyau.

Comme pour le plancher bas, des réservations sont à prévoir dans l'épaisseur isolée afin d'anticiper le passage des gaines électriques.



Insufflation de ouate de cellulose

## Performances et assurabilité

Pour permettre l'assurabilité de la construction, certains niveaux de performances doivent être atteints, concernant différents points.

### Performances structurelles

C'est le complexe enduit-paille qui est porteur. Les deux matériaux mis ensemble acquièrent ainsi leur rigidité, à la manière d'un panneau sandwich. Le rôle de l'enduit est déterminant pour assurer le contreventement notamment.



*Le bâtiment étant un ERP, les études ont été soumises à validation par un contrôleur technique agréé. Une note de calcul structurelle a été produite par Nebraska pour justifier la résistance du bâtiment en paille porteuse qui supporte le poids du plafond isolé, les surcharges d'entretien de celui-ci et les efforts au vent des quatre façades. L'approche demandée par le bureau de contrôle a été celle des Eurocodes. On procède donc à la vérification par le calcul des efforts maximums attendus dans la paille, dans les enduits, à l'interface de ceux-ci, et les effets de flambement de murs sous les différents cas de charges réglementaires, en prenant des marges sécuritaires sur les valeurs admises de résistances. Pour aller plus loin, plusieurs tests en laboratoire nous permettent de conforter les résultats des calculs.*

*Les différents essais présentés dans la note de calcul ont été réalisés sur une vingtaine d'années en Europe et aux Etats-Unis par la communauté internationale scientifique et militante, sur des murs sélectionnés pour être assimilables à ceux construits à Villeurbanne.*

**Gil Bustarret,**   
**Ingénieur structure, Nebraska**

## Étanchéité à l'air

« L'enduit argile garantit l'étanchéité à l'air. Il permet d'avoir de bonnes performances, même si l'on n'atteint pas celles du passif.

**Mathilde Lapierre,** >>  
**Architecte charpentière, Nebraska**

Si l'enduit permet d'assurer l'étanchéité à l'air, pour atteindre de bonnes performances, certains points particuliers sont à observer afin d'assurer une mise en œuvre adéquate.

### Traversées de réseaux :

Le passage des gaines dans l'épaisseur de l'isolant, en plancher haut comme en plancher bas est privilégié. Les traversées de réseaux dans les enduits permettent d'être étanche à l'air. Ce choix a été fait pour l'EPI pour plus de simplicité.

Sinon, un dispositif approprié doit permettre d'assurer l'étanchéité au droit des passages de réseaux. Le calfeutrement par une bande adhésive souple est acceptée.

### Interfaces avec les menuiseries :

Le traitement de chaque liaison doit permettre d'assurer la continuité de l'étanchéité à l'air et à l'eau, malgré les dilatations différentielles des éléments entre menuiseries et surface de référence étanche à l'air. Une membrane frein-vapeur permet d'assurer la continuité de l'étanchéité entre les menuiseries et l'enduit terre. Elle est posée en attente, avant la réalisation des enduits et la pose des menuiseries.



## Approvisionnement en matériaux

La fourniture en matériaux s'est faite localement.

### Paille

Les céréales sont produites dans toutes les régions françaises. Il y a donc des bottes de pailles utilisables dans la construction sur l'ensemble du territoire. Les bottes s'achètent soit directement à un agriculteur céréalier, soit à un fournisseur de paille.

La saisonnalité est à prendre en compte si l'on travaille avec un agriculteur. La paille en construction étant directement liée au monde de l'agriculture, sa disponibilité est influencée par le calendrier agricole. La paille se récolte en juillet.

Lorsque l'on travaille avec un grossiste, les bottes sont disponibles toute l'année. Dans le cas de l'EPI, les bottes proviennent d'un grossiste drômois, à la frontière de l'Isère, à 100 km de Villeurbanne : les établissements DIÉ à Montrigaud, sur la commune de Valherbasse. La botte de paille a été fournie à un coût de 4 euros la botte, ce qui en fait un matériau peu cher, à mettre au regard du coût de main d'œuvre qui est plus élevé que pour un matériau manufacturé.

250 bottes ont été prévues pour la construction.

### Enduits

L'argile a été fournie par Alliance 4, fournisseur de matériaux de construction situé à Porte-des-Bonnevaux, dans l'Isère, à 65 km de Villeurbanne. Les sables viennent également d'Isère.

### Bois de charpente

Le bois provient d'une scierie régionale. Il est labellisé PEFC, ce qui garantit qu'il est issu de sources responsables, participant ainsi à la gestion durable des forêts.

# Quel devenir pour l'EPI ?

« Dans le cadre d'une occupation temporaire, l'Espace de Partage et d'Innovation a été pensé afin de pouvoir être recyclé voire réutilisé. Deux pistes se dessinent :

- Plan A : L'EPI est déposé et reconstruit ailleurs sur le territoire de la Métropole de Lyon
- Plan B : L'EPI est déposé et ses matériaux sont recyclés ou distribués au sein de filières de réemploi (bois, paille, terre crue sont les principaux matériaux)

Nous nous sommes divisés en trois groupes afin de réfléchir à l'organisation du réemploi entre décembre 2022 et septembre 2023.

Comment se mettre en action si c'est le choix "B" qui est retenu ?

**Laura Depussay, coordinatrice,  
Collectif Pourquoi Pas !?**

**(témoignage en date du 30 novembre 2022)**



Frise déconstruction (© Collectif Pourquoi Pas !?)

Un groupe d'apprenantes de l'Institut Transitions (reconversion professionnelle vers l'ESS) a réalisé une étude de faisabilité sur les filières de réemploi possibles pour ces matériaux. Cette étude a conduit à dresser un inventaire des éléments réemployables et à prendre contact et échanger avec les acteurs du réemploi de la région (Recycl'éco, Minéka, Made In Past, Cycle Up, Enfin! réemploi, Métabatik, Bobi Réemploi). Des demandes de devis ont été envoyées. À suivre...

# En images



Pose de la dernière botte  
16 mars 2022



Visite du chantier participatif - 24 mars 2022

# Pour aller plus loin



## Synthèses – Laboratoire de la Fabrique urbaine des Gratte-Ciel

Portes ouvertes professionnelles SERL – GIE La Ville Autrement – VAD

#1 - 23 septembre 2021 : <https://vu.fr/cjzC>

#2 - 13 mai 2022 : <https://cutt.ly/94cEnvG>



## Vidéo « Construire une Maison en Paille Porteuse de A à Z »

Julien Malara, 2022

<https://youtu.be/444JR-zpr7w>



## Ressources complémentaires sur la paille porteuse

Articles de recherches écrits (ou co-écrits) par les membres de l'association Nebraska

<http://nebraskaconstruction.fr/recherches>



## Ressources complémentaires sur la construction paille

Site internet du RFCP :

<https://www.rfcp.fr>



## Règles Professionnelles de la construction en paille

Remplissage isolant et support d'enduit  
Règles CP 2012 révisées, 3<sup>ème</sup> édition – RFCP, avril 2018

Retrouvez cette bibliographie sur :  
[enviroboite.net](http://enviroboite.net)

# Dans la même série



Construction d'une résidence « Pranard » à Villeurbanne (69)

ZOOM sur :

- la *ventilation* ;
- les *enveloppes et systèmes* ;
- l'*extension et la surélévation BEPOS*.



Construction d'une Maison de l'enfance à Albertville (73)

ZOOM sur :

- l'*approche bas carbone* ;
- le *confort d'été*.



Construction d'une salle associative, le « Club House », à la Verpillière (38)

ZOOM sur :

- le *montage du projet* ;
- la *préfabrication de panneaux terre* ;
- du *meublier sur mesure en réemploi*.



Construction d'un bâtiment provisoire et démontable : « La préfabrique de l'innovation » à Villeurbanne (69)

ZOOM sur :

- les *murs à ossature bois - paille* ;
- les *techniques frugales*.



Construction du CAP : pépinière d'entreprises, St-Clair-de-la-Tour (38)

ZOOM sur :

- les *murs en terre coulée* ;
- le *BIM*.

Retrouvez ces carnets de chantier et bien d'autres encore sur :

[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)

[enviroboite.net](http://enviroboite.net)

## Réalisation de carnets de chantiers...

Les carnets de chantiers de Ville & Aménagement Durable permettent de traiter une opération de construction ou de réhabilitation de bâtiment performant en phase mise en œuvre et de faire des zooms sur des aspects spécifiques du chantier (pose des balcons désolidarisés, mise en œuvre de l'étanchéité à l'air, de l'isolation, etc.). Ils sont illustrés par des photos de chantier, des plans et schémas techniques et sont complétés par l'expertise des acteurs du projet.

D'autres carnets seront réalisés par VAD. N'hésitez pas à nous informer de tout projet pouvant faire l'objet d'un reportage.

## ... sur quelles bases ?

Ce carnet de chantier réalisé sur l'Espace de Partage et d'Innovation (EPI) à Villeurbanne a été établi sur la base de visites réalisées en mars et avril 2022 et d'échanges avec différents acteurs du projet :

- Valérie Martos Libon, Rhône Saône Habitat ;
- Samantha Amoroso, GIE La Ville Autrement ;
- Luc Doin, architecte, collectif Pourquoi Pas !? ;
- Amandine Riou, collectif Pourquoi Pas !? en phase conception, bénévole en phase chantier ;
- Laura Depussay, collectif Pourquoi Pas !?
- Mathilde Lapierre, Cédric Hamelin et Gil Bustarret, Nebraska ;
- Nicolas Doudelle, Qualiconsult.

Nous remercions l'ensemble de ces acteurs pour leurs contributions à ce carnet. Les informations qu'il contient n'engagent en rien les acteurs.

103 avenue du Maréchal de Saxe  
69003 Lyon

04 72 70 85 59

[contact@ville-amenagement-durable.org](mailto:contact@ville-amenagement-durable.org)

[ville-amenagement-durable.org](http://ville-amenagement-durable.org)

in

Avec le soutien de :



L'EUROPE S'ENGAGE  
en région  
Auvergne-Rhône-Alpes  
avec le FEDER



Ce programme d'action  
est cofinancé  
par l'Union européenne