

L'Arche de Neuville

pièces libres

SOMMAIRE

	pages
• Note sur le bien fondé de l'usage des bottes de paille en mode porteur pour franchir l'espace en compression	2
• PROJETS DE RÉFÉRENCE	
Plancher en entrevous du cellier de la maison Heïko	5
Maison Echo	6
Autres projets conçus par Trait Vivant Architectes	7
• TRAVAUX D'ÉTUDIANTS (DUT "Construction durable" de l'Université Cergy-Pontoise)	
Ayinde Fawaz	8
Ruellan Mewen	9
Sanchez Amtaire	10

NOTE - *Le bien fondé de l'usage des bottes de paille en mode porteur pour franchir l'espace en compression*

1. Objet, contexte et enjeux

1.0 Réflexion préliminaire

L'architecture est l'art de constituer des espaces par une composition matérielle, ordonnée par une logique structurelle. Des paramètres matériels et structurels alimentent et déterminent alors nécessairement l'expression architecturale. Par conséquent une recherche dans le domaine de l'architecture doit s'efforcer de faire coïncider la «dimension spatiale» et la «dimension technique».

1.1 La dimension spatiale

Les espaces que nous habitons nous habitent aussi. Ils constituent le milieu dans lequel nous évoluons et jouent un rôle important de stimuli sensoriel et corporel pour l'humain.

Il est communément admis et vérifiable par l'expérience de chacun des espaces sont fortement caractérisés par l'expression de leur fermeture spatiale en hauteur (communément désigné comme plafond (vu de l'intérieur) ou en tant que toiture (perçue en dehors du bâtiment). C'est pourquoi dans l'histoire de la construction une attention particulière a toujours été réservée à cet élément, au point que de nombreux styles constructifs privilégient ce paramètre (cela vaut aussi bien pour les bâtiments religieux que mondains, des édifices de prestige aux bâtiments les plus simples comme par exemple l'igloo, les trulli dans les Pouilles, la « chaumière » normande, etc).

Le constat d'un appauvrissement spatial de l'architecture contemporaine est directement lié à la négligence de cet éléments constructif. Des solutions techniques permettent la mise en œuvre de couverture très plates, voire planes grâce à l'usage de matériaux élastiques comme l'acier, qui peuvent être soumis à des flexions importantes. Ces pratiques entraînent l'abandon de la logique qui prévalait auparavant, à savoir qu'une portée importante ne pouvait être obtenue qu'avec une hauteur constructive significative .

De ce fait les voûtes ont perdu de leur importance dans l'art de bâtir, la compréhension d'acheminement des forces a, en quelque sorte, permis d'inverser leur fonctionnement : le béton précontraint nous en fournit des preuves impressionnantes.

Cela dit, dans un contexte de crise énergétique et sociétale, la mise en œuvre de systèmes constructifs hautement énergivores et à faible expressivité spatiale (tels sont désormais communément ressentis la plupart des bâtiments équipés de plancher et toiture en béton armé) doit être reconsidérée.

Siegfried Giedion, théoricien d'art et d'architecture, constate avec acuité que « chaque type de voûte est ainsi devenu, en quelque sorte, le symbole de son époque » (Siegfried Giedion : Espace, Temps, Architecture, Introduction). Il caractérise par la suite la coque fine en béton armé comme l'expression de la voûte moderne classique. Avec le recul dont nous disposons aujourd'hui sur l'époque de la construction en coques de béton et dont Giedion, (1888-1968) n'a pu connaître le déclin provoqué par des raisons essentiellement économiques, poursuivre son raisonnement nous incite alors à poser la question suivante : « quelle voûte sera le juste symbole de notre époque et de celles à venir, conforme à une société post-carbone ? Sera-t-elle en mesure de retrouver une façon de constituer des planchers pourvus d'une qualité expressive spatiale et à faible coût matériel et énergétique, permettant de la généraliser à grande échelle et de quelle nature sera-t-elle ?

1.2 La dimension technique

Si différentes voies sont à l'ordre du jour pour définir la façon de construire pour demain, je constate que les efforts entrepris restent souvent inscrits dans une optique de profit monétaire, relativisant de ce fait l'intérêt réel d'une typologie constructive alternative basée sur des ressources renouvelables (et donc moins facilement « vendables »). Étant impliqué par mon activité d'architecte dans le domaine de la construction « éco-logique », une des expériences les plus prometteuses semble être celle de la construction en bottes de paille. Cela pour différentes raisons dont la première est sa disponibilité (il s'avère qu'avec seulement 20% à 30% de la paille annuelle de blé tendre produite en abondance au niveau national, l'objectif de la construction de 500 000 logements annuels pourrait être réalisé). A cela, il faut ajouter son faible coût énergétique et son effet bénéfique de stockage de dioxyde de carbone (tandis que la fabrication du ciment est responsable pour 8% des GES émis à l'échelle globale, pour une tonne de ciment, 900 kg de CO₂ sont relâchés dans l'air ; à l'inverse, on considère que la croissance d'une tonne de paille aura prélevé 1500 kg de CO₂). Si les expériences de la construction en bottes de paille se concentrent sur son application dans les murs verticaux (avec ou sans complément structurel tel que des ossature en bois), des projets de mise en oeuvre sur des chantiers expérimentaux m'encouragent à développer ma recherche sur l'emploi de la botte de paille en tant qu'élément d'une portée horizontale (permettant alors la fermeture horizontale d'espaces sous forme de plancher ou de toiture).

2. La problématique

La problématique à l'échelle de l'ouvrage d'un plancher est identique quel que soit le matériau utilisé : Quelle hauteur constructive et quel trajet de force correspondent au mieux au problème pour relier deux points d'appui entre lesquels prend place le dit plancher ?

La géométrie d'une voûte livre une réponse possible. A ma connaissance, ce n'est qu'en 1997 (Bob Theis) que la botte de paille rejoint les matériaux mis en oeuvre en forme de voûte ; d'autres réalisations (2000 Minke/Mahlke, 2007 Minke/Krick) ont précédé mes propres expériences de construction en voûte de bottes de paille de 2012 et de 2017 lesquelles s'orientent aujourd'hui vers un usage de voûtes à faible cintre, permettant la réalisation d'un plancher à entrevous.

Le manque d'approche méthodologique dans ce domaine peut étonner étant donné que l'emploi d'une botte de paille en forme de voûte diminue fortement les inconvénients comme le fluage, pouvant amener un flambement dans un mur vertical.

Le but de cette étude sera donc de démontrer la pertinence de la mise en oeuvre de bottes de paille dans la construction de voûte pour des applications en plancher et en toiture d'habitation ce qui signifie :

a) développer un processus minimisant le recours à d'autres matériaux que la botte de paille : pour cela, il y aura lieu d'expérimenter les différentes solutions permettant d'obtenir la courbure d'une botte ; différentes solutions se présentent : chanfrein de la botte elle-même (mise en oeuvre dans le projet cellier Heikō, 2017, voir page 5) ; calage entre bottes (mise en oeuvre dans le projet Maison Echo, 2012, voir page 6) ; précontrainte des bottes autour d'un gabarit comme dans la pratique utilisée pour les murs courbes de la construction en bottes de paille porteuse ; insertion de cales dans la botte elle-même, etc).

b) tester et justifier la compatibilité avec une finition du côté intérieur et extérieur :

du côté intérieur, la solution d'un enduit est envisagée, sachant que sa formulation et le mode d'application doivent être éprouvés du fait que l'adhésion en sous-face d'une voûte est plus difficile à obtenir que sur un pan vertical du côté extérieur, le complexe proposé devra assurer l'étanchéité à l'eau tout en assurant la perspiration nécessaire pour une toiture dont la face intérieure n'est pas étanche à la vapeur ; dans ce domaine un état des lieux des solutions déjà mises en œuvre sera analysé afin de choisir la solution la mieux adaptée qui sera alors optimisée pour notre cas, l'éventualité d'une végétalisation du toit sera étudiée, dans cette optique la protection de la paille des racines et l'attention accordée à l'infiltration d'eau seront des objectifs essentiels de la recherche.

c) analyser le système proposé du point de vue de sa pertinence économique et optimiser l'ensemble en vue de proposer une solution concurrentielle avec des systèmes commercialisés de nos jours à performance comparable.

3. Proposition pour une recherche sur le sujet du franchissement par compression - Planning

La recherche s'organise en plusieurs phases, lesquelles sont synthétisées ci-dessous avec un planning provisoire par mois; la date du démarrage de la recherche dépendra de l'obtention du financement :

Phase 1 (m 1-3) Etat des lieux bibliographique et synthèse des informations significatives pour la recherche.

Phase 2 (m 4-9) Choix et achat de bottes de pailles au calibre bien défini : max 2 types de bottes (section A : 36cm*46cm ; éventuellement section B : 50cm*80cm ; à savoir que l'usage de la section B se limiterait à l'emploi pour des voûtes à cintre prononcé - caractérisation des bottes en laboratoire et tests permettant la définition de leur comportement mécanique (compression, élasticité, cisaillement, fluage) ; résultats à établir en fonction de la direction de l'action de la charge, cas de charges-statiques ; Ces paramètres seront définis en fonction de l'humidité relative de la paille en botte et en considérant le caractère anisotrope du matériau) ; définition d'un modèle de comportement à l'échelle de la «brique» élémentaire : la botte de paille.

Phase 3 (m 5-12) Définition d'une catégorie de typologie structurelle à réaliser en maquette à échelle 1 ; s'agissant de « maquettes sans revêtements » de surface à ce stade; réalisation de ces maquettes et série de tests sur les maquettes, et analyse mécanique; éventuellement en parallèle : modélisation par éléments finis pour validation numérique des comportements observés. Cette modélisation devrait ensuite permettre des simulations du comportement de différentes structures par extrapolation des données.

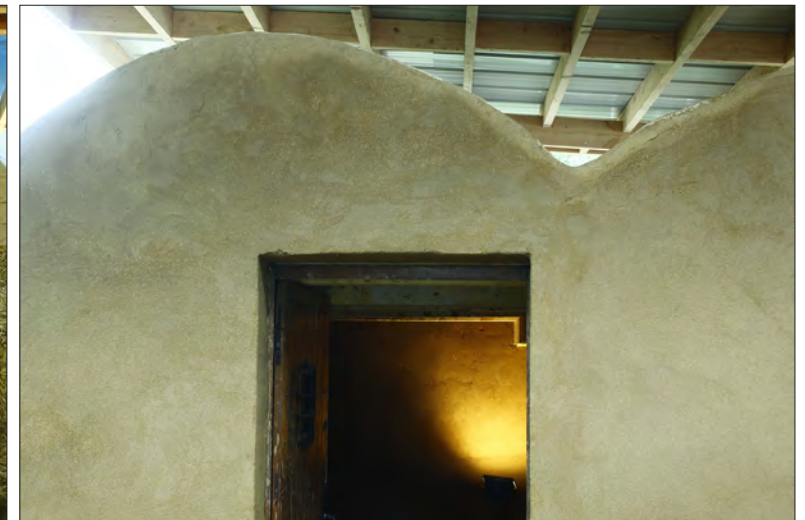
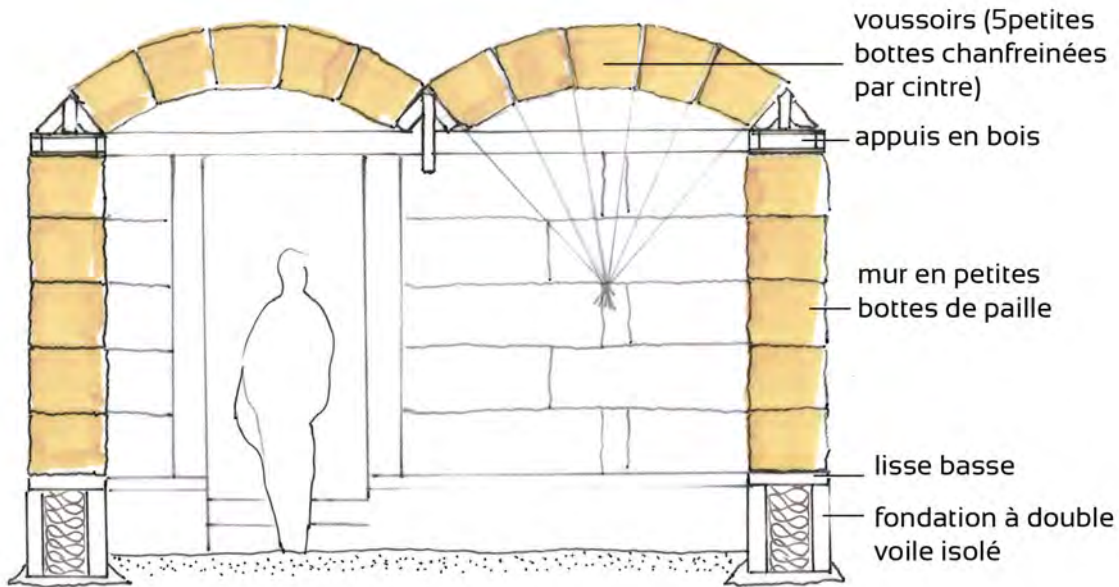
Phase 4 (m 10-14) Description et analyse des tests et simulations des modèles paille sans revêtement, choix des modules à retenir (maximum 2) pour compléter ces maquettes avec un revêtement adapté. Les revêtements seront choisis en fonction des résultats mécaniques obtenus du fait qu'ils joueront un rôle structurel complémentaire pour les modules (comportement en cisaillement intervenant dans le contreventement des structures), les revêtements assurent également le rôle de protection de la paille (essentiellement au feu et à l'eau) ; les revêtements seront choisis de façon à pouvoir facilement être reproduits, ils seront caractérisés et décrits dans leur totalité.

Phase 5 (m 15-18) Reprise des tests effectués en fin de la Phase 3, pour les « maquettes avec revêtement »; comparaison et adaptation du revêtement en fonction des tests.

Phase 6 (m 19-26) Mise en œuvre des solutions constructives retenues à l'échelle d'un bâtiment et instrumentalisation de cet ouvrage, permettant de suivre des variations géométriques au-delà du cadre temporaire des études en vue d'une généralisation possible du processus (l'observation à long terme s'intéresse surtout au phénomène du fluage différé).

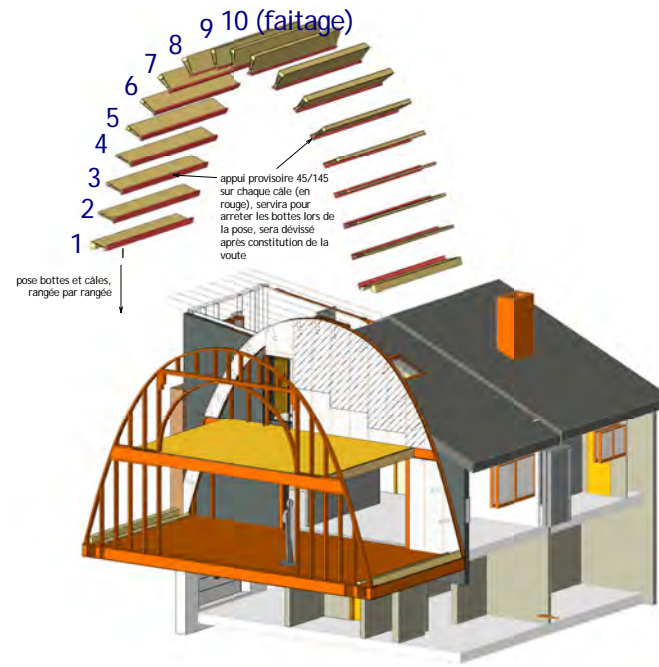
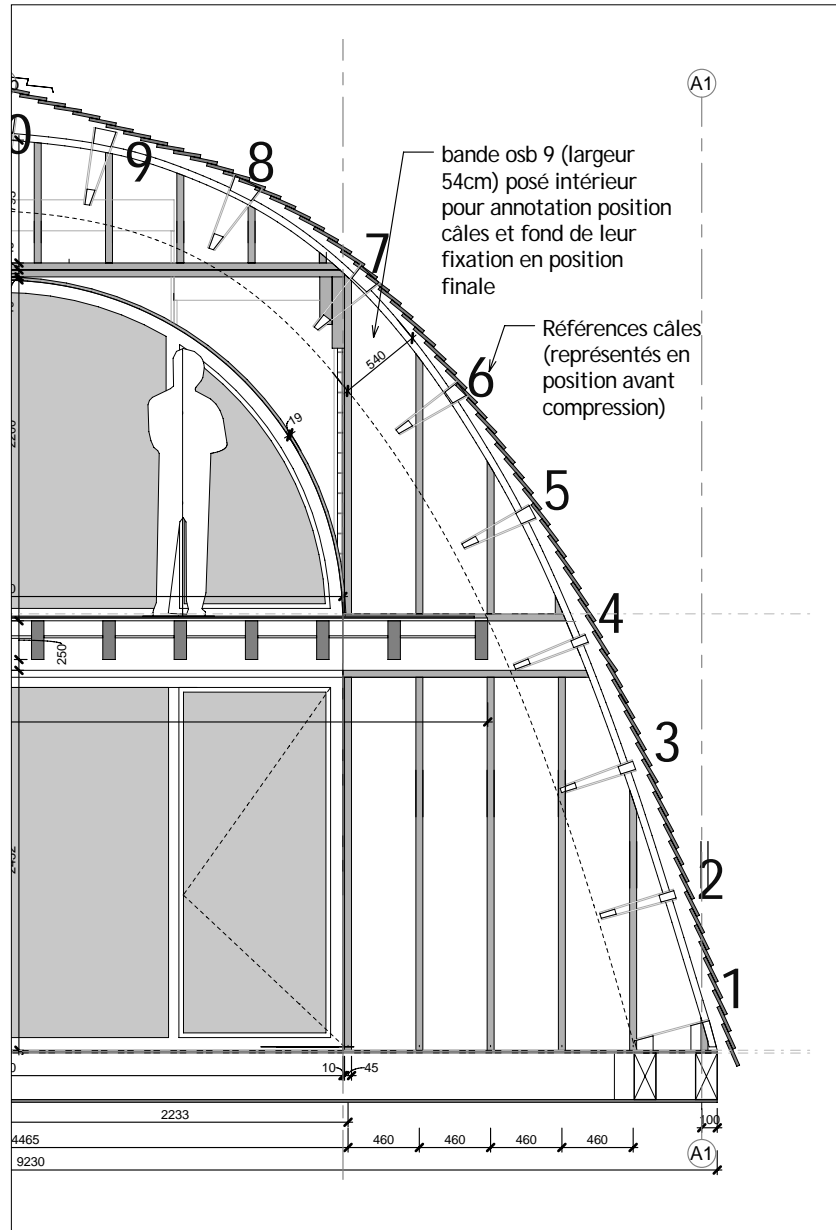
PROJETS DE RÉFÉRENCE - *Plancher en entrevous du cellier de la maison Heïko*

Bâtiment de 20 m² en paille porteuse (petites bottes, densité 100 kg/m³) avec une toiture en entrevous. Réalisé en chantiers participatifs
Trait Vivant Architectes, 2017



PROJETS DE RÉFÉRENCE - *Maison Echo*

Voûte en bottes de paille (dimensions 50/80/200, densité 170 kg/m³)
Trait Vivant Architectes, 2012



PROJETS DE RÉFÉRENCE - *Autres projets conçus par Trait Vivant Architectes*



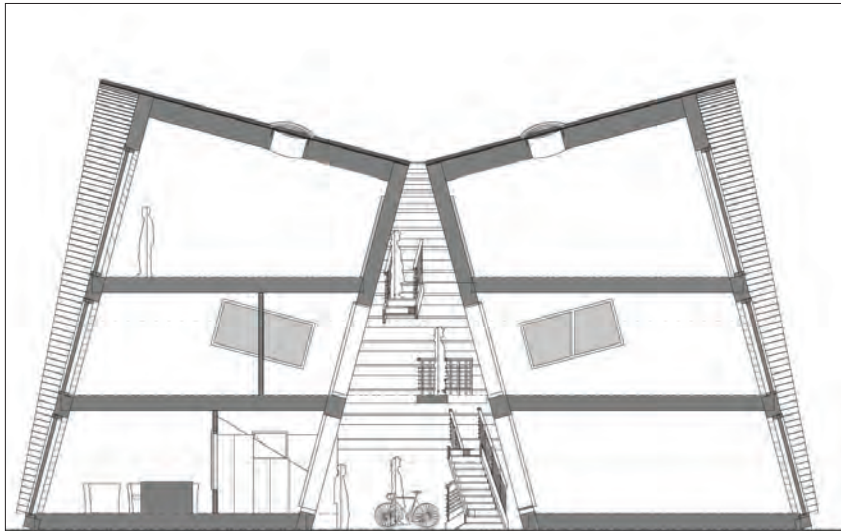
Atelier portuaire, 2015



Sur les toits de Venise



Maison Autonome



Habitat groupé sur 3 niveaux, 2016



Bateau-maison avec terrasse flottante

AYINDE
FAWAZ
T01, TP1 PEL

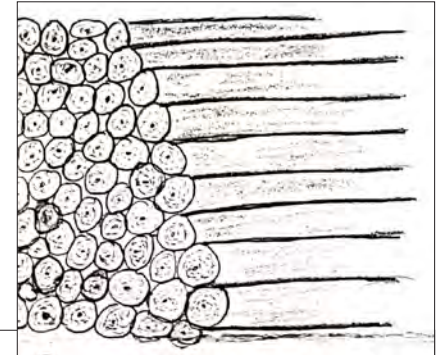
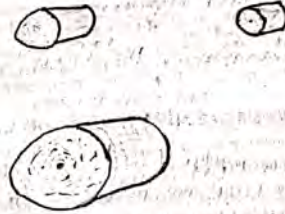
Constructions d'une voûte en paille

Pour le module de construction durable, nous étions amenés à construire une voûte en paille et en bois. La voûte sera constituée de 56 bottes. Nous allons nous intéresser à la technique de construction en voûte sur gâble.

La paille:

La paille est un matériau biosourcé, la paille est composée d'un ensemble de tiges et feuilles d'herbe dont la plupart sont des grains. Il est obtenu après battage et séparation des grains. Il existe deux types de paille: la paille creuse (avoine, blé, etc.) et la paille solide (maïs, blé dur, etc.).

Elle présente en effet des qualités d'isolation thermique intéressantes. Des qualités qui sont même utilisées aujourd'hui en plus de son faible coût, de sa résistance à l'humidité ou encore dans le bâtiment pour de l'isolation en paille.



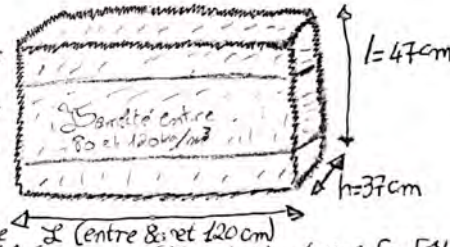
Le bois:

Le bois est aussi un matériau biosourcé, obtenu à partir des branches des arbres. Il possède d'excellentes propriétés chimiques et mécaniques, de sorte qu'il peut être utilisé non seulement dans la construction de maisons, de meubles, d'outils, mais également dans la sculpture d'œuvres d'art et de produits dérivés. C'est également un combustible intéressant.

Botte de paille:

Dans la construction en paille ce sont essentiellement des petites bottes qui sont utilisées. La hauteur et la largeur ont des dimensions fixes (37x47cm), seule la longueur et la densité sont variables. La longueur peut varier entre 80cm et 120cm et la densité doit être comprise entre 80 et 120kg/m³ pour pouvoir utiliser la botte de paille comme matériau de construction.

Reconnue pour sa qualité d'isolant thermique, la botte de paille peut aussi avoir le rôle de support d'enduit ainsi qu'être utilisée comme élément structurel du bâtiment.

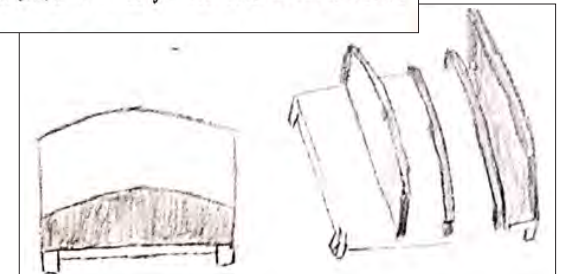


Un Gabarit:

Les bottes de paille sont placées sans les gabarits.

Les planches de bois:

Les planches de bois seront insérées et utilisées pour courber la botte de paille. La botte sera donc voûtée.

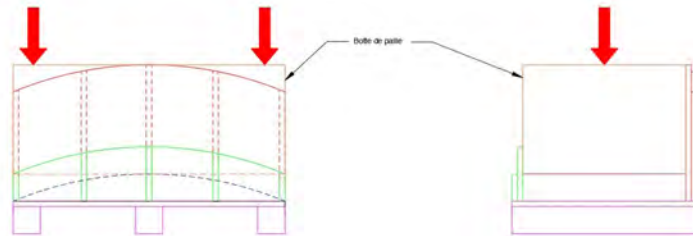


La botte de paille voûtée obtenue →

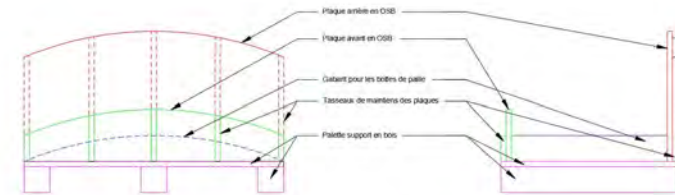


Mise en forme des bottes de paille

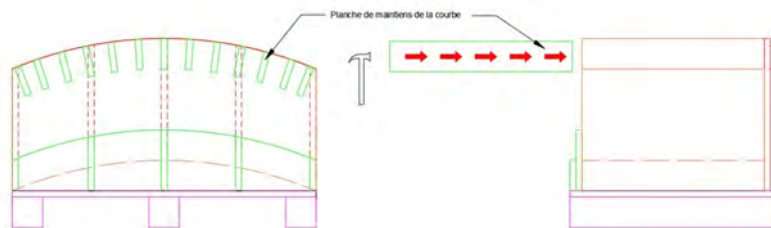
1ère étape : On place une botte de paille sur le gabarit et on applique une force sur les extrémités



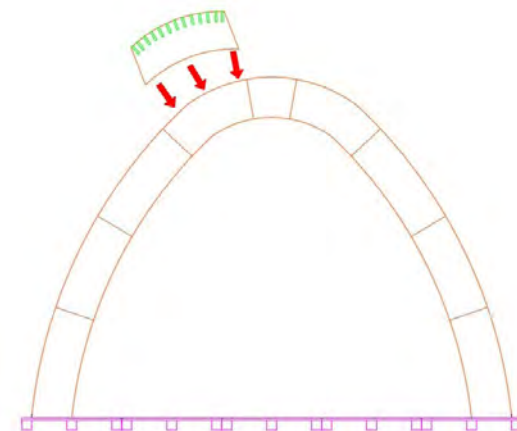
Présentation d'un gabarit



2ème étape : On vient planter des planche en bois sur la partie supérieure de la botte afin de maintenir la courbure



Dernière étape : La botte est prête à être placée sur l'arche avec toutes les autres. Elles seront placées selon leur courbure



Construction paille

Problématique:

Nous le savons la paille a un faible taux hygrométrique ($\approx < 20$) c'est pour cela que lors de son stockage la paille ne doit pas être en contact avec l'eau.

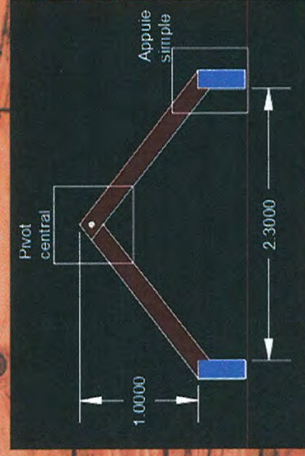
Mise en contexte:

Lors de notre chantier les bottes de paille était stockée dans une benne sans toit. La paille pouvait donc être en contact avec la pluie lors des intempéries.



Solution technique:

Pour protéger la paille nous avons eu l'idée de construire une charpente en bois que nous recouvrirons d'une bâche. Pour suivre notre de résonnement de construction durable, nous avons décidé d'utilisé des palettes que nous avons assemblé grâce à des clous.



Appuie simple

La liaison entre notre charpente est un appui simple. Nous avons pu choisir ce système grâce à notre pivot centrale. Les arbalétriers sont seulement posés sur la benne.

Pivot central:

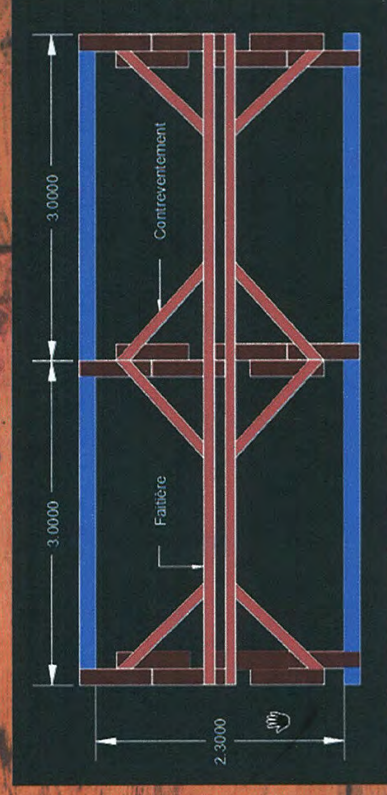
Notre pivot centrale nous permet de pouvoir assurer une liaison simple entre la charpente et la benne. Mais aussi a permettre la déformation de la charpente sans que cette dernière casse.

Contreventement:

Nous avons aussi mis des contreventement pour éviter que la charpente ce casse.

Pannes faitières:

Pour relier nos arbalétriers nous avons mis des pannes faitières.



Vue de dessus