

A photograph showing a cross-section of a cob wall. The wall is made of thick, brown, textured mud. To the left of the wall is a layer of dark brown wood mulch. The text 'COBBAUGE' and 'UN GUIDE POUR LES CONCEPTEURS' is overlaid in white, bold, sans-serif font.

# COBBAUGE

## UN GUIDE POUR LES CONCEPTEURS

*Photo: Plymouth University, projet CobBauge.*

[www.cobbauge.eu](http://www.cobbauge.eu)



HUDSON Architects



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1	Qu'est-ce que la CobBauge ?.....	4
1.2	À qui s'adresse ce guide ?.....	4
1.3	Que couvre le guide ?.....	4
1.4	Droits d'auteur	4
1.5	Responsabilités.....	5
<b>2</b>	<b>COBBAUGE – MATIÈRES PREMIÈRES .....</b>	<b>6</b>
2.1	Approvisionnement en matériaux .....	6
2.2	Exigences relatives à la terre – pour la couche structurelle .....	6
2.2.1	Additifs aux mélanges de couches structurelles CobBauge.....	6
2.3	Exigences relatives à la terre – pour la couche thermique.....	7
		7
2.4	Exigences relatives aux fibres naturelles – pour la couche structurelle	7
2.5	Exigences relatives aux fibres naturelles – pour la couche thermique	7
2.6	Enduit intérieur et peinture.....	8
2.7	Enduits extérieurs .....	8
<b>3.</b>	<b>MÉLANGE DES MATÉRIAUX DE COBBAUGE .....</b>	<b>9</b>
3.1	Rapports de mélange .....	9
3.2	Méthodes de mélange .....	10
3.2.1	Mélange de la couche structurelle .....	10
3.2.2	Mélange de la couche thermique.....	11
3.3	Calcul des volumes de matériaux CobBauge.....	15
3.3.1	Calculs du volume des matériaux de la couche structurelle.....	15
3.3.2	Calcul du volume des matériaux de la couche thermique .....	16
<b>4</b>	<b>TEST DES MATÉRIAUX DE COBBAUGE .....</b>	<b>18</b>
4.1	Les premiers tests de la terre .....	18
4.2	Méthodes d'essai en laboratoire .....	18
4.2.1	Méthodes d'essai en laboratoire de la couche structurelle.....	18
4.2.2	Méthodes d'essai en laboratoire de la couche thermique .....	19
4.3	Essais sur site	20
4.3.1	Essais sur site de la couche structurelle.....	20
4.3.2	Essais sur site de la couche thermique .....	21
<b>5.</b>	<b>SOCLE .....</b>	<b>22</b>
5.1	Études du sol	22
5.2	Support de socle approprié.....	22
5.3	Support de la CobBauge .....	22
<b>6.</b>	<b>COFFRAGE .....</b>	<b>23</b>

6.1	Conception et construction des coffrages .....	23
6.2	Élaboration d'une levée de CobBauge et d'outils CobBauge.....	25
6.3	Vérification de compactage de la CobBauge dans les coffrages	29
6.4	Repositionnement du coffrage.....	29
6.5	Ouvertures	30
<b>7.</b>	<b>SÉCHAGE.....</b>	<b>31</b>
7.1	Délais entre les levées de CobBauge .....	31
7.2	Taux d'humidité maximum pour le décoffrage.....	31
<b>8.</b>	<b>OUVERTURES .....</b>	<b>32</b>
8.1	Ouvertures de portes .....	32
8.2	Ouvertures de fenêtres .....	32
8.3	Ouvertures plus grandes .....	32
<b>9.0</b>	<b>Problèmes potentiels rencontrés sur le site .....</b>	<b>33</b>
9.1	Précipitations pendant la construction.....	33
9.2	Fissures dans les couches de CobBauge .....	33
9.3	Stockage sur site .....	34
<b>10.0</b>	<b>Échafaudage pour un bâtiment CobBauge .....</b>	<b>35</b>
10.1	Étape 1 : Travailler à partir du sol.....	35
10.2	Étape 2 : Montage d'un échafaudage.....	35
<b>11.0</b>	<b>DÉPLACEMENT DES MATÉRIAUX COBBAUGE SUR LE SITE</b>	<b>36</b>
	11.1 À la main	36
	11.2 Par machine	36
<b>12.0</b>	<b>SERVICES COURANTS DANS UN MUR COBBAUGE</b>	<b>36</b>
<b>13.0</b>	<b>INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES.....</b>	<b>36</b>
<b>14.0</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>37</b>
<b>15.0</b>	<b>EXEMPLES DE SOURCES DE MATÉRIAUX .....</b>	<b>37</b>

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 Qu'est-ce que la CobBauge ?

CobBauge est une nouvelle forme de construction de mur solide, qui développe la construction traditionnelle en bauge pour répondre aux exigences réglementaires modernes de construction en matière de performance thermique. Cette construction de mur est entièrement créée à partir de matériaux naturels, de terre argileuse et de fibres végétales et contient deux couches avec des propriétés différentes : la structurelle, qui est la face intérieure dense faite de bauge ; et la thermique, qui est la face extérieure légère faite de terre allégée (comme expliqué dans la section 2).

## 1.2 À qui s'adresse ce guide ?

Ce document vise à informer les concepteurs sur les méthodes génériques de construction d'un bâtiment utilisant le matériau CobBauge. Ce guide est conçu comme un document de travail, qui évoluera au fur et à mesure de l'avancement de la recherche, jusqu'à la fin du projet CobBauge en juin 2023. Cette information est associée au document *CobBauge - Assurance Qualité*, qui fait également partie de la documentation de l'appel d'offre.

Tandis que l'objectif principal de ce guide est de fournir des conseils aux concepteurs professionnels, sans expérience préalable de la construction en terre, il sera également pertinent en tant que guide technique pour les constructeurs professionnels, et en tant qu'outil pédagogique pour les étudiants.

Ce guide a été produit dans le cadre d'un programme Interreg de l'UE.

## 1.3 Que couvre le guide ?

Ce guide donne une vue d'ensemble des informations qu'un concepteur devra comprendre lors de la conception d'une construction en CobBauge, ainsi que des processus que les conceptions typiques de bâtiments utilisant la CobBauge devront suivre. Ces processus vont de l'approvisionnement en matières premières au mélange, aux tests et au séchage (sections 2-4), en passant par la plinthe, le coffrage, le séchage, les ouvertures, les problèmes potentiels et la construction d'échafaudages (sections 5-10). Ce guide fournit des informations génériques sur la CobBauge ; il ne traite donc pas de toute circonstance éventuelle ni de toutes les façons possibles d'utiliser la CobBauge.

Il s'agit d'un guide pour la conception, il existe un guide CobBauge séparé pour la construction.

## 1.4 Droits d'auteur

Ce guide a été produit comme l'un des résultats du projet de recherche CobBauge, qui a impliqué six partenaires britanniques et français aux compétences complémentaires :

- Université de Plymouth (Royaume-Uni) : Partenaire principal du projet
- Ecole Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction de Caen, (ESITC) Caen (FR)
- Parc naturel régional des marais du Cotentin et du Bessin, (PnrMCB) (FR)
- Earth Building UK and Ireland, (EBUKI) (Royaume-Uni)
- Université de Caen Normandie, (LUSAC) Laboratoire (FR)
- Hudson Architects, Norfolk (Royaume-Uni)

Le projet INTERREG VA France (Manche) et Angleterre est cofinancé par le Fonds européen de développement régional (FEDER) à travers l'Objectif Spécifique 2.1 : Technologies bas carbone.

Vous trouverez de plus amples informations sur le site web du projet **[www.cobbauge.eu](http://www.cobbauge.eu)**

Ce document est protégé par les droits d'auteur des partenaires du projet et peut être utilisé librement selon les termes de Creative Commons.

## **1.5 Responsabilités**

Le contenu de ce document est destiné à être utilisé comme ressource dans le cadre de formations visant à améliorer les compétences et les connaissances des constructeurs utilisant la CobBauge. Les auteurs n'acceptent aucune responsabilité pour la conception ou la construction de quelconque projet individuel qui pourrait être produit.

## 2 COBBAUGE – MATIÈRES PREMIÈRES

### 2.1 Approvisionnement en matériaux

L'approvisionnement en matériaux pour l'utilisation de la CobBauge est une partie importante de son processus car il contribue de manière significative à l'objectif de faible émission de carbone du nouveau système de construction. Par conséquent, pour atteindre cet objectif, il est recommandé de s'approvisionner en matériaux sur le site même, ou aussi près du site que possible. Comme la terre argileuse constitue la plus grande partie des matériaux nécessaires à la fabrication d'un mur CobBauge, le fait de s'approvisionner sur le site est un moyen avantageux de minimiser le carbone incorporé du projet. Si la terre du site n'a pas les caractéristiques idéales dans sa forme brute pour convenir aux mélanges de bauge ou de terre allégée, il peut être possible d'augmenter cette terre avec de l'argile ou du ballast supplémentaire pour qu'elle soit utilisable (voir section 2.2.1).

### 2.2 Exigences relatives à la terre – pour la couche structurale

La terre nécessaire pour créer la couche structurale de la CobBauge est la même que celle nécessaire pour la bauge traditionnelle. Il s'agit d'une terre avec une teneur en argile de 12 à 20%, pour agir comme un liant pour les autres parties du mélange, ainsi que d'une terre bien calibrée (contenant une gamme de tailles de particules comprenant des fines, du sable et du gravier) pour améliorer la résistance mécanique et réduire le retrait (Figure 1). Des tests approfondis de la terre doivent être effectués pour s'assurer que la réactivité et le taux de retrait de l'argile conviennent à la couche structurale de la construction des murs de CobBauge. Ces tests sont décrits dans la section 4.



*Figure 1 : Exemple d'une terre convenable pour une couche de CobBauge structurale.  
Photos : Katey Oven.*

#### 2.2.1 Additifs aux mélanges de couches structurales CobBauge

La terre disponible peut ne pas être adaptée à la construction de bauge dans son état naturel, lorsqu'elle est excavée. Cependant, en fonction du type de sol, il peut être possible et pratique d'ajouter des matériaux supplémentaires à cette terre pour la rendre apte à être utilisée pour un mélange de bauge. Dans le cas où la teneur en argile d'une terre est trop élevée, il est possible d'ajouter du ballast pour réduire le pourcentage d'argile dans le mélange. Pour ce faire, il est recommandé d'utiliser un mélange d'agrégats d'une granulométrie de 20 mm jusqu'à

la poussière. Inversement, de l'argile pure peut être ajoutée à la terre pour augmenter la teneur totale en argile du mélange.

### 2.3 Exigences relatives à la terre – pour la couche thermique

La terre nécessaire pour créer la couche thermique de CobBauge est la même que celle nécessaire pour la terre allégée traditionnelle. Il s'agit d'une terre riche en argile, avec une teneur en argile de 60% ou plus (Figure 2). Elle est utilisée pour créer une barbotine d'argile coulante, qui fera adhérer les fibres naturelles du mélange. Les résultats montrent que plus l'argile est riche et résistante, plus les valeurs U de la couche thermique CobBauge sont faibles. Cela est dû au fait que le mélange de terre allégée a besoin de moins d'argile pour faire adhérer les fibres ensemble, ce qui donne un mélange globalement plus léger. Une terre riche en argile peut donner une valeur U de 0,23W/m²K pour le système de mur CobBauge. La teneur en argile des mélanges de terre allégée ne pose pas de problème de retrait pour la couche thermique.



Figure 2 : Exemple d'une terre convenable pour une couche de CobBauge thermique.  
Photos : Katey Oven.

### 2.4 Exigences relatives aux fibres naturelles – pour la couche structurelle

La paille de blé est la fibre naturelle recommandée pour le mélange de bauge qui forme la couche structurelle de la CobBauge. Cette fibre est accessible dans le monde entier et a fait ses preuves pour le système de construction CobBauge. Bonne pratique : il est important de s'assurer que la paille est fraîche et conservée au sec. Avant l'utilisation, pour vérifier que la paille est en bon état, il est conseillé d'ouvrir la botte de paille et de l'examiner pour détecter la présence de moisissure, de pourriture ou de fragilité. Les brins de paille devraient mesurer entre 150 et 300 mm de long et ne devraient pas avoir besoin d'être coupés avant utilisation. Il est important de noter que les petites longueurs de paille ne rendront pas la couche structurelle aussi solide.

### 2.5 Exigences relatives aux fibres naturelles – pour la couche thermique

La chènevotte est la fibre naturelle recommandée pour le mélange de terre allégée qui constitue la couche thermique du CobBauge. Cette fibre s'est avérée efficace pour le système de construction CobBauge car elle résiste bien au surcompactage. Les copeaux de chanvre

doivent être prédécoupés en longueurs d'environ 30 à 80 mm et vendus en tant que produit pour la construction.

L'utilisation du roseau coupé comme fibre naturelle de la terre allégée a été étudiée, mais elle s'est avérée moins efficace car elle nécessitait plus de précautions lors de son installation dans le coffrage. On a constaté que le roseau pouvait être trop compacté et se déformer de façon permanente, ce qui diminuait les propriétés isolantes de la couche thermique.

## 2.6 Enduit intérieur et peinture

Le système mural CobBauge étant perméable à l'air et hygroscopique, il est important que l'enduit intérieur suive également ces caractéristiques de perméabilité à la vapeur. Cela se prête aux enduits naturels tels que la chaux ou l'argile. Si les deux sont efficaces, sur le plan environnemental, il est recommandé d'utiliser un enduit d'argile, car il est probable qu'il puisse être fabriqué à partir de la même terre que le mélange de bauge structurelle, ce qui permet d'économiser le carbone incorporé. Il s'inscrit également dans l'approche de construction de murs monolithiques de l'innovation CobBauge, tout en présentant des voies traditionnelles similaires. Pour créer l'enduit d'argile, on peut faire appel à un spécialiste ou le concepteur peut effectuer des tests en interne pour obtenir le bon mélange. L'application de l'enduit requiert des compétences propres à cet artisanat, il est donc important de réfléchir à la personne qui sera engagée pour accomplir cette tâche. Les mêmes qualités de respirabilité sont également requises pour toute finition de peinture, par exemple une peinture à base d'argile. Il est important de noter qu'une finition imperméable aurait des conséquences néfastes sur le mur CobBauge, tant au niveau de la structure que des performances thermiques, en raison de problèmes d'humidité et de moisissure.

La limitation de l'enduit d'argile est qu'il n'est pas imperméable, et donc pas résistant aux intempéries, ce qui le rend seulement approprié pour une application interne. Bien qu'il soit possible de laisser la face interne de la CobBauge exposée, sans finition avec de l'enduit ou de la peinture, il faudrait prendre soin de la surface pour que cette méthode soit pratique et appropriée, par exemple en appliquant une couche de vernis transparent pour réduire la poussière potentielle. La finition grillagée de la couche structurelle devra également être examinée visuellement pour voir si elle peut être poncée sans affecter son intégrité structurelle.

## 2.7 Enduits extérieurs

Comme l'enduit intérieur, il est également obligatoire que l'enduit extérieur soit respirant, et qu'il partage les caractéristiques du mur naturel de CobBauge, mais avec l'exigence complémentaire d'être imperméable et résistant aux intempéries. La chaux est donc le mélange d'enduit le plus approprié (Figure 3). Bien que les entreprises de construction doivent avoir une connaissance de base de l'enduit à la chaux, on fait souvent appel à des entreprises spécialisées dans ces cas-là. Contrairement à la face intérieure, la face extérieure d'un mur CobBauge ne peut pas être laissée sans enduit car la couche thermique, en terre allégée, n'est pas assez durable et doit être protégée. Par conséquent, l'application d'une peinture respirante ne suffit pas.



Figure 3. Exemple d'un enduit à la chaux appliqué à un mur CobBauge.  
Photo : Raphaël Rattier.

### 3. MÉLANGE DES MATÉRIAUX DE COBBAUGE

#### 3.1 Rapports de mélange

Les matériaux CobBauge thermiques et structurels doivent être mélangés sur le site, à proximité du site ou importés d'un fournisseur externe. Dans chaque cas, les procédures suivantes doivent être suivies pour s'assurer que le sol et le mélange conviennent à une utilisation dans un bâtiment CobBauge :

##### Étape 1. Essais initiaux en interne

Les tests initiaux sont réalisés par le concepteur en interne, afin de pouvoir évaluer la présence d'argile dans la terre et donc son potentiel à être utilisée pour l'un des mélanges (se référer au document *CobBauge - Guide de mise en œuvre* pour les tests). C'est également une excellente occasion de développer une compréhension interne de la gamme des différentes terres, de leurs caractéristiques et des quantités d'argile. Une fois qu'une terre susceptible d'être utilisée a été trouvée, un échantillon de 1 kg doit être extrait et envoyé à un centre d'essai approprié. Les chercheurs du projet CobBauge de l'université de Plymouth peuvent vous aider à effectuer les tests ou à trouver un laboratoire approprié. Les coordonnées de ce laboratoire sont : [cobbauge@plymouth.ac.uk](mailto:cobbauge@plymouth.ac.uk)

##### Étape 2 : Analyse en laboratoire

Une analyse en laboratoire de la terre est effectuée au centre d'essais pour déterminer sa teneur en argile, sa granulométrie et la viabilité du mélange de bauge et de terre allégée. Cela aidera également à déterminer si la terre a besoin de ballast supplémentaire ou d'argile supplémentaire, et quelle en est la quantité, pour la rendre appropriée à l'un des mélanges de matériaux CobBauge. Cette recherche en laboratoire aidera également à déterminer le pourcentage de fibres nécessaire pour chacune des couches de CobBauge.

##### Étape 3 : Recettes de matériaux sur mesure

Les concepteurs peuvent ensuite utiliser ces informations pour élaborer des recettes de mélange de matériaux sur mesure pour le projet CobBauge.

##### Étape 4 : Se procurer suffisamment de terre pour la construction

Une fois qu'une terre appropriée a été testée et choisie pour les mélanges de bauge et de terre allégée, l'on peut s'en procurer de grandes quantités pour la construction. Il est avantageux de se procurer la totalité de la terre nécessaire à la construction en une seule fois afin d'éviter les incohérences que la commande de différents lots pourrait entraîner et qui pourraient à leur tour influencer sur les caractéristiques de la terre.

Une fois que les terres sont prêtes pour la construction, c'est-à-dire que leurs ratios ballast/argile sont maintenant corrects, le tableau suivant donne un exemple des ratios de matériaux (en volume) pour les couches structurelles et thermiques :

- **Mélange de bauge** (couche structurelle) : 1 seau de mélange de terre prêt à la construction pour 1 seau de fibre de paille de blé.
- **Mélange de terre allégée** (couche thermique) : 1 volume de barbotine d'argile pour 3 volumes de fibres de copeaux de chanvre.

Ces rapports montrent que le mélange de bauge a un rapport approximatif de 1:1 entre la terre et la paille de blé, tandis que la terre allégée a un rapport approximatif de 1:3 entre la barbotine et les copeaux de chanvre (en volume). Ces ratios peuvent également être traduits approximativement par une teneur en fibres de 2,5 % par poids sec de terre pour le mélange de bauge et de 50 % de fibres par poids sec pour la terre allégée. Il est important de noter

que les ratios ci-dessus ne sont pas une règle, c'est pourquoi les concepteurs doivent réaliser les étapes 1 et 2 de ce qui précède afin que les pourcentages de matériaux puissent être adaptés au projet avant les étapes de mélange (sous-section 3.2).

## 3.2 Méthodes de mélange

Les méthodes de mélange des matériaux de CobBauge thermiques et structurels, sur ou hors site, diffèrent en raison de la densité du matériau dans chaque cas. Comme la bauge et la terre allégée sont des techniques de construction traditionnelles, les procédures suivantes de préparation des mélanges devraient être familières aux constructeurs ayant une expérience préalable de la construction en terre.

### 3.2.1 Mélange de la couche structurelle

#### Étape 1. Décider comment le matériau sera mélangé et stocké

Le mélange de la terre avec la paille de blé, au ratio qui a été adapté au projet, peut être entrepris par la méthode traditionnelle, avec les pieds, ou en utilisant des machines modernes (voir Figures 4 & 5). Cependant, la méthode par machine rend la construction en CobBauge plus viable en raison de la facilité accrue, de la vitesse et de la capacité à rendre les mélanges de matériaux plus homogènes.

Il existe de multiples méthodes pour mélanger mécaniquement la terre, la paille de blé, l'eau et l'ajout éventuel de ballast, notamment :

1. **Utilisation d'une benne** comme récipient pour le mélange et d'un godet de pelleuse pour mélanger le mélange.
2. **Creuser une fosse** dans le sol (de la taille d'une benne) et l'utiliser comme récipient pour le mélange et un godet de pelleuse pour mélanger.
3. **Déposer les matériaux sur une dalle de béton** et rouler sur le mélange avec la pelleuse.

Toutes ces méthodes requièrent une pelleuse d'au moins 4,5 tonnes afin d'avoir suffisamment de puissance pour le mélange, tandis qu'elles diffèrent sur l'endroit où le mélange du matériau a lieu. Il est également important de considérer le contenant qui sera utilisé pour stocker le matériau et la manière dont il sera recouvert après le mélange (voir la sous-section 9.3). Il est donc important que le concepteur discute de ces options avec l'entrepreneur pour décider de la méthode la plus appropriée pour le projet.



Figure 4 : Mélange de la bauge structurelle avec une machine ou avec les pieds. Photo : Plymouth University, CobBauge project (2021) (gauche), François Streiff (droite).



Figure 5 : Mélange de la bauge structurelle dans une benne avec le godet d'une pelleuse. Photo : Katey Oven.

### Étape 2. Peser les matériaux selon le rapport souhaité

La pelleuse peut également être un outil utile pour mesurer les quantités de matériaux. Pour ce faire, les entrepreneurs peuvent louer une balance numérique qui peut être fixée au godet de la pelleuse, qui sera utilisée pour mesurer et ajouter les matériaux au mélange, de sorte que le poids d'un godet de chaque matériau puisse être calculé. À partir de là, les ratios de matériaux spécifiés peuvent être convertis en volumes de godets de pelleuse pour obtenir les proportions correctes du mélange.

### Étape 3. Mélange des matériaux

Commencez par ajouter une quantité pesée de terre dans le récipient. Ensuite, utilisez le godet de la pelleuse pour ajouter progressivement la paille et l'eau afin d'obtenir le mélange dans les proportions spécifiées, en mélangeant soigneusement les matériaux entre eux tout au long de ce processus. Il est recommandé d'ajouter la paille de blé et l'eau petit à petit pour faciliter le processus de mélange et s'assurer que les fibres sont mélangées de manière homogène.

### Étape 4. Réaliser l'essai d'impact de masse

Une fois tous les ingrédients ajoutés et entièrement mélangés, pour évaluer si la bauge a la bonne consistance pour la construction, il faut effectuer l'essai d'impact de masse sur le mélange (voir sous-section 4.3). Si le matériau ne répond pas au résultat souhaité du test, il faudra ajouter des matériaux supplémentaires au mélange de bauge pour qu'il soit correct, par exemple en ajoutant plus d'eau si le mélange est trop ferme/sec ou plus de terre et de paille s'il est trop humide/mou. Lorsque la bauge passe ce test, le matériau peut être stocké prêt à l'emploi (voir sous-section 9.3) ou ajouté directement au coffrage d'un mur CobBauge, comme décrit dans la section 6 de ce document.

## 3.2.2 Mélange de la couche thermique

La couche thermique est mélangée en utilisant une barbotine d'argile. En résumé, la barbotine est composée d'une terre appropriée qui est ensuite mélangée avec de l'eau jusqu'à ce qu'elle réponde aux critères définis pour l'essai de flaque dans la section 4.3. La procédure de préparation de la barbotine est la suivante :

### Étape 1 : Tremper la terre

Il est recommandé de laisser tremper la terre pendant au moins 3 jours avant de mélanger la barbotine. Cela lui permettra de se décomposer et de devenir malléable. Pour les gros morceaux solides, la décomposition peut être facilitée par l'utilisation d'un marteau, d'un pied de biche, etc. Pour compléter cette étape, comme pour le mélange de la CobBauge structurale, il faut trouver un récipient pour le matériau. Cela peut consister à creuser une fosse dans le sol et à la recouvrir d'un matériau imperméable, comme une membrane anti-humidité (voir Figure 6), ou à utiliser une benne.



Figure 6 : Trempage du mélange de la terre thermique dans une fosse étanche. Photo : Tom Booen.

### Étape 2. Estimation du taux de barbotine

Il existe une viscosité optimale pour la barbotine. Elle est mesurée à l'aide d'un essai de flaque, qui peut être effectué sur site et qui est expliqué à la section 4. Il est conseillé d'effectuer ce test sur un petit échantillon de la terre choisie, avant de mélanger la barbotine en vrac, afin de pouvoir déterminer les proportions de terre et d'eau nécessaires à l'obtention de la consistance de flaque à 14 cm souhaitée.

### Étape 3. Application du taux de barbotine

Prenez un grand récipient, tel qu'un seau ou un baril (d'une capacité d'environ 800 litres) et remplissez-le avec les proportions approximatives spécifiques au projet pour la barbotine (Figure 7). Par exemple, si l'essai de flaque a donné un rapport de 1:1 entre la terre et l'eau (en volume), la moitié du seau sera remplie de terre et l'équivalent de l'autre moitié du seau sera l'eau.



Figure 7 : Mélange de la terre avec de l'eau, dans un grand seau, pour former la barbotine d'argile. Photo : François Streiff.

#### Étape 4. Mélange de la barbotine

Mélangez la terre et l'eau. Bien qu'il soit possible d'effectuer cette procédure à l'aide d'outils manuels non mécaniques, il est recommandé d'utiliser un malaxeur à pales motorisé pour des raisons de facilité, de vitesse et d'uniformité du mélange (Figure 8). Il est également important de noter qu'il est plus facile de rajouter de l'eau au mélange que de la terre, pour obtenir la consistance de flaque souhaitée, il est donc conseillé d'ajouter la quantité d'eau à la terre progressivement par petites quantités.



Figure 8 : La consistance recherchée de la barbotine d'argile. Photo : François Streiff.

#### Étape 5. Tamisage de la barbotine

Une fois la barbotine mélangée, s'il y a des agrégats, ce mélange est tamisé à l'aide d'une maille d'environ 8 mm<sup>2</sup> afin d'éliminer les grosses pierres et autres gros morceaux de matériau (Figure 9). Idéalement, la barbotine est tamisée dans plusieurs petits seaux pour faciliter son utilisation ultérieure.



Figure 9 : Tamisage de la barbotine d'argile. Photo : François Streiff.

#### Étape 6. Ajout de la barbotine à la fibre de chanvre

Une fois que la barbotine a la bonne consistance et que les particules les plus grosses ont été éliminées, on peut l'ajouter aux copeaux de chanvre pour former la terre allégée. Le mélange de la terre allégée peut être effectué de manière traditionnelle, à la main, ou à l'aide d'une machine, comme une bétonnière, un malaxeur à plâtre ou type Baron (à action forcée) (Figures 10 & 11). Il est conseillé d'ajouter la barbotine progressivement, petit à petit, aux copeaux de chanvre pour éviter de sursaturer le mélange.



Figure 10 : Mélange de la terre allégée sur site avec une bétonnière (gauche) et à la main (droite).  
Photos : François Streiff (gauche) & Anthony Hudson (droite).



Figure 11 : Mélange de la barbotine d'argile et des fibres de copeaux de chanvre hors site utilisant un malaxeur Baron. Photo : Plymouth University.



Figure 12 : La consistance recherchée du mélange de terre allégée. Photo : Katery Oven (2022).

### Étape 7. Évaluer la consistance

Le mélange de terre allégée ne doit pas être détrempé, mais suffisamment humide et collant pour que tous les copeaux de chanvre soient entièrement recouverts de la barbotine et puissent ainsi conserver leur forme lorsqu'ils sont moulés dans la paume de la main. Les caractéristiques de la terre allégée sont souvent comparées à celles d'une barre de céréales fibreuse, comme un flapjack, tandis que sa masse est particulièrement légère lorsqu'elle est soulevée (voir Figure 12). Une fois que le mélange répond à cette description, la terre allégée peut être stockée prête à l'emploi ou ajoutée directement dans le coffrage d'un mur CobBauge pour former la couche thermique. Vous trouverez de plus amples informations dans le document *Assurance Qualité*, qui accompagne le présent document.

## 3.3 Calcul des volumes de matériaux CobBauge

Les matériaux nécessaires à la construction de la CobBauge doivent être calculés avant la construction afin de réduire le gaspillage sur site. Le volume des couches structurales et thermiques doit être calculé séparément, car la couche thermique extérieure a un plus grand périmètre, et la méthode de calcul des volumes dépendra de la géométrie du bâtiment spécifique.

### 3.3.1 Calculs du volume des matériaux de la couche structurale

Lorsque le volume de la couche structurale a été calculé, les volumes des matériaux du mélange de bauge peuvent alors être calculés à partir de celui-ci. Il est important de se rappeler que l'eau nécessaire au mélange de matériaux ne doit pas être incluse dans le calcul des volumes de la couche de mur CobBauge finie. En effet, l'eau s'évaporerait et ne fera donc pas partie du mur fini. La valeur estimée pour 1 m<sup>3</sup> de CobBauge structurale est d'environ 1 650 kg/m<sup>3</sup>.

#### Exemple concret

Comme le montre le tableau 1, si un bâtiment nécessite 50 m<sup>3</sup> de CobBauge structurale, alors l'estimation du poids total serait la suivante :

$$50 \text{ m}^3 \times 1\,650 \text{ kg} = 82\,500 \text{ kg}$$

Dans le cas du tableau 1, pour ce mélange spécifique de bauge, l'ajout de 13 % de ballast et 10 % d'argile est nécessaire pour le mélange. Par exemple, pour 100 kg de terre brute, il faut ajouter 13 kg de ballast et 10 kg d'argile pour obtenir un total de 123 kg afin de maintenir le bon ratio. Une fois que ce mélange de terre a été créé, ce matériau représente 98,5 % du poids total de la couche structurale. La paille de blé représente les 1,5 % restants du poids de la couche, car l'eau n'est pas incluse.

Tableau 1 Exemple des quantités d'ingrédients de la CobBauge structurelle

<b>Ingrédients</b>	<b>Poids total de la construction totale 50 m<sup>3</sup></b>
<b>Mélange de terre (98.5 %)</b>	<b>81 262,5 kg</b>
- Terre (100 %)	- 66 066,5 kg
- Ballast (13 % de terre brute)	- 8 589 kg
- Argile (10 % de terre brute)	- 6 607 kg
Eau	5 775 kg (non inclus dans le poids sec)
Paille de blé (1,5 %)	1 237,5 kg
<b>Poids total de la couche structurelle</b>	<b>82 500 kg (poids estimé après évaporation de l'eau)</b>

### 3.3.2 Calcul du volume des matériaux de la couche thermique

Lors du calcul du volume de la couche thermique, il est important de considérer qu'elle forme la moitié extérieure du mur CobBauge, et qu'elle nécessite donc plus de matériau que la couche structurelle intérieure. En plus de cela, le mélange de terre allégée thermique est souvent utilisé en plus autour des ouvertures du bâtiment et du toit pour réduire les ponts thermiques. La valeur estimée pour 1 m<sup>3</sup> de CobBauge thermique est de 350 kg/m<sup>3</sup>.

#### Exemple concret

Comme le montre le tableau 2, si un bâtiment nécessite 55 m<sup>3</sup> de CobBauge thermique, alors l'estimation du poids total serait la suivante :

$$55 \text{ m}^3 \times 350 \text{ kg} = 19\,250 \text{ kg}$$

Dans le cas du tableau 2, pour ce mélange spécifique de barbotine d'argile, un rapport de 1:1 entre l'argile et la terre, d'une part, et l'eau, d'autre part (en volume) a été déterminé à partir de l'essai de flaque (sous-section 4.3). Ces quantités en volume ont ensuite été transférées en poids pour donner le rapport de 58:42 argile-terre/eau (en poids). Tout comme pour le mélange de bauge, il est important de se rappeler que toute l'eau requise pour le mélange de terre allégée ne doit pas être incluse dans le calcul des volumes de la couche de mur CobBauge finie. En effet, l'eau s'évaporera et ne fera donc pas partie du mur fini. Les valeurs du tableau 2 correspondent également à la règle empirique du rapport 1:3 entre la barbotine et les copeaux de chanvre (en volume), comme expliqué dans la sous-section 3.1.

Tableau 2 Exemple des quantités d'ingrédients de la CobBauge thermique

<b>Ingrédients</b>	<b>Poids total de la construction totale 55 m<sup>3</sup></b>
Barbotine d'argile (humide)	24 053 kg
- Terre riche en argile (58 % en poids)	- 13 951 kg
- Eau (42 % en poids)	- 10 102 kg
Copeaux de Chanvre	5 298 kg
<b>Poids total</b>	<b>19 250 kg (estimé)</b>

## 4 TEST DES MATÉRIAUX DE COBBAUGE

### 4.1 Les premiers tests de la terre

Lorsque l'on considère un site pour un projet CobBauge, il est recommandé d'utiliser la terre du site lorsque cela est possible. En effet, le transport d'une grande quantité de terre vers le site entraîne des coûts financiers et des émissions de carbone, tandis que l'absence de mise en décharge de la terre lors du déblaiement et du creusement des fondations permet de réaliser des économies, tant sur le plan financier que sur celui des émissions de carbone.

Lorsque l'on vérifie si la terre peut être utilisée, il sera nécessaire de faire des tests en laboratoire pour être certain que la terre peut être utilisée pour la CobBauge, comme indiqué dans la sous-section 3.1. Cependant, comme ces tests prennent du temps et ont un coût financier, il est avantageux de n'envoyer que les terres qui ont le potentiel d'être adaptées aux tests de laboratoire. Par conséquent, il est recommandé que le concepteur effectue une série de tests initiaux en interne, qui sont détaillés dans le document *CobBauge - Guide de mise en oeuvre*. Si la terre sur le site ne convient pas, les carrières et les briqueteries sont de bons endroits pour chercher des sources locales alternatives, en plus de parler avec un géologue local pour aider à la recherche.

### 4.2 Méthodes d'essai en laboratoire

#### 4.2.1 Méthodes d'essai en laboratoire de la couche structurale

Si les tests initiaux indiquent qu'une terre pourrait convenir pour la couche de CobBauge structurale ou thermique, il est fortement conseillé de faire tester un échantillon dans un laboratoire pour le confirmer et proposer les proportions de mélange des matériaux recommandées.

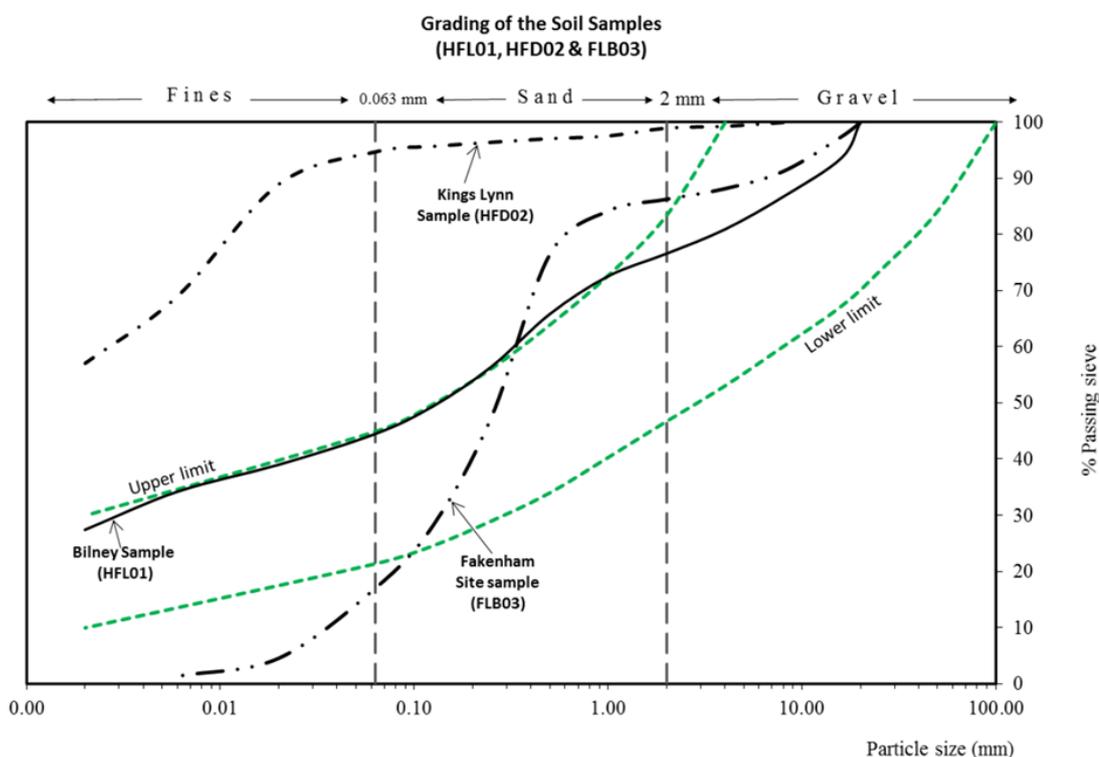


Figure 13 : Résultats de classification en laboratoire pour trois types de terre et limites de composition recommandées pour l'aptitude à l'utilisation pour la bauge structurale. Source : David Clark (2022).

Dans le cadre des essais en laboratoire, il est probable que les terres seront tamisées par voie humide, conformément à la norme BS1377, et analysées pour la fraction "fine" (limon et argile) qui est établie par la méthode de la pipette. La classification des terres et la détermination de la distribution granulométrique sont des éléments clés des tests en laboratoire. Cela montrera le pourcentage d'argile/limon, de sable et de graviers, qui peut être comparé à la distribution requise pour la CobBauge, voir exemple Figure 13.

Dans cet exemple, on peut voir que l'échantillon de Bilney est proche des exigences de la construction en bauge, comme le montrent les limites supérieure et inférieure. Il a été recommandé que la terre nécessitait environ 13 % de ballast (20 mm – agrégat de poussière) pour se situer dans les limites appropriées.

Un autre élément clé des tests en laboratoire est le retrait de la terre. Cette analyse est effectuée en remplissant un moule de retrait (d'environ 40 mm x 40 mm x 600 mm) avec un mélange de bauge d'essai, en utilisant l'échantillon de terre, en le laissant sécher et en mesurant ensuite la nouvelle longueur du matériau. Dans le cas de l'échantillon de Bilney, le mélange de bauge a également été mélangé avec 10 % et 15 % de ballast afin de comparer l'impact de ces ajouts de matériaux sur les résultats. On a constaté que le mélange à 15 % de ballast donnait un taux de retrait de 1 %, ce qui est une quantité acceptable pour la bauge.

Le dernier test de laboratoire important à effectuer est la résistance à la compression non confinée du mélange de bauge d'essai. Il est important de noter que l'ingénieur en construction aura besoin de cette valeur pour pouvoir réaliser la conception structurelle du bâtiment. Cette valeur est obtenue en comprimant un cylindre sec de 100 mm du mélange de bauge d'essai dans un appareil calibré.

#### 4.2.2 Méthodes d'essai en laboratoire de la couche thermique

La couche thermique de CobBauge n'est pas censée jouer un rôle structurel dans le mur. Au contraire, le but de cet élément de construction est de fournir la performance thermique du bâtiment, ce qui est essentiel pour que le bâtiment soit conforme aux réglementations. Par conséquent, la conductivité thermique est le principal indicateur de qualité de ce matériau.

Pour évaluer la conductivité thermique de la couche thermique de CobBauge, les concepteurs doivent former des échantillons rectangulaires de 300 mm x 300 mm x 70 mm (longueur x largeur x profondeur) du mélange de terre allégée, à l'aide d'un moule, qui seront envoyés au laboratoire pour des tests de conductivité thermique. Ces dimensions sont essentielles pour la préparation d'échantillons aptes à être mesurés à l'aide d'un appareil de contrôle du flux thermique. La Figure 14 montre un exemple de moule acceptable pour un échantillon de terre allégée, ainsi qu'un exemple d'échantillon test de terre allégée à côté de l'appareil. Ce test en laboratoire implique que les échantillons soient séchés au four à 40°C jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids d'équilibre. Cela signifie que 3 pesées consécutives à 24 heures d'intervalle ont moins de 1 % de différence entre elles.



Figure 14 : Exemple d'appareil de mesure du flux thermique et échantillon test de bauge thermique.  
Photo : Plymouth University, projet CobBauge.

Il est conseillé d'effectuer un essai de mélange de terre allégée, en utilisant les ratios de matériaux sur mesure, avant de préparer de plus gros volumes du mélange de terre allégée pour le bâtiment. Si le concepteur est satisfait des résultats et qu'ils répondent à la performance thermique du bâtiment, la terre allégée pour le bâtiment peut être mélangée en plus grande quantité.

Avant de poser la première levée d'un mur CobBauge, il est conseillé aux concepteurs de répéter le test, afin de produire une lecture précise de la performance thermique du mélange de terre allégée qui sera utilisé pour le bâtiment. Cela permettra de s'assurer que le résultat est représentatif du mur CobBauge. Pour ce faire, le concepteur devra produire au moins trois échantillons rectangulaires supplémentaires qui seront envoyés au laboratoire pour y être testés.

Si le résultat de la conductivité thermique moyenne des échantillons est inférieur à la valeur spécifiée, les raisons possibles de ce résultat, que le concepteur devra étudier, peuvent comprendre :

#### **1. Les composants et/ou les quantités du mélange sont incorrects.**

Les concepteurs devraient vérifier les éléments suivants :

- a. Pourcentage d'argile dans la terre
- b. Pourcentage de granulats dans la terre
- c. Pourcentage de fibres dans le mélange
- d. Pourcentage d'eau dans le mélange

#### **2. Le mélange de bauge n'a pas été préparé ou mélangé correctement.**

Les concepteurs devraient se référer à la section 3 de ce document pour obtenir des conseils sur la façon de mélanger la CobBauge thermique et vérifier les points suivants :

- a. La consistance des matériaux mélangés et la rigueur du mélange
- b. Le compactage des échantillons, c.-à-d. s'ils sont trop ou pas assez compactés.

#### **3. Le mélange de bauge a connu une augmentation du mouillage ou du séchage après le mélange initial.**

Les concepteurs devraient vérifier :

- a. Que le stockage du matériel est approprié, par exemple, le mélange a été stocké avec une protection adéquate (bâche) contre le soleil, le vent et la pluie.
- b. Que le matériau a été transporté de manière appropriée, par exemple, le mélange a été protégé pendant le transport.

### **4.3 Essais sur site**

#### **4.3.1 Essais sur site de la couche structurelle**

Pour vérifier si le mélange de bauge structurelle (terre, fibres et eau, plus tout ajout de matériau spécifié) est d'une consistance et d'une plasticité appropriées pour la construction, un essai

d'impact de masse doit être effectué. Ce test sera probablement effectué par le constructeur ou la personne responsable de la création du mélange. Cette méthode consiste à :

1. Mesurer 2 litres de mélange de bauge à l'aide d'une cruche de mesure (voir l'image à l'extrême gauche de la Figure 15).
2. Modeler cette quantité de matériau en une sphère à la main.
3. Ensuite, laisser tomber cette boule d'une hauteur d'un mètre sur une surface plane.
4. Mesurer le diamètre de la galette résultant de la déformation de la boule après impact. Le diamètre souhaité pour la galette (boule déformée) du mélange de bauge est de 21 cm, à 1 cm près.



Figure 15 : Méthodologie d'essai d'impact de masse pour les mélanges de bauge structurale. Photos : Katey Oven (2022).

#### 4.3.2 Essais sur site de la couche thermique

Pour créer la consistance de barbotine d'argile la plus appropriée à l'utilisation dans la couche thermique, un essai de flaque doit être entrepris. Cette méthode consiste à :

1. Mesurer 100 ml de barbotine d'argile (terre et eau mélangées ensemble - sans fibres), à l'aide d'un pichet doseur. Il est recommandé d'ajouter l'eau à la terre progressivement pour former la barbotine, car il est beaucoup plus facile d'ajouter de l'eau supplémentaire pour obtenir la viscosité souhaitée que d'ajouter de l'argile supplémentaire.
2. Verser les 100 ml de barbotine d'argile d'une hauteur de 100 mm sur une surface plane (voir l'image à l'extrême gauche de la Figure 16).
3. Mesurer le diamètre de la flaque de barbotine sur la surface. Le diamètre souhaité, pour un mélange optimal de barbotine, est d'exactement 14 cm. Plus de 14 cm signifie que la barbotine est trop diluée, ce qui réduirait les propriétés liantes et donc structurales de la barbotine. Moins de 14 cm et on risque d'utiliser plus de barbotine que nécessaire ce qui altèrera les propriétés d'isolation souhaitées du mélange thermique.
4. Une fois cette consistance obtenue, la barbotine est prête à être mélangée aux fibres dans un ratio spécifié (voir Section 3).



Figure 16 : Essai de flaque de barbotine d'argile pour le mélange de bauge thermique. Photos : Olivia Elsey (2022).

## 5. SOCLE

### 5.1 Études du sol

Pour la construction en CobBauge, des études de sol doivent être entreprises, comme pour tout autre projet de construction. Comme la CobBauge est une construction lourde, il est vital qu'elle soit correctement soutenue. Par conséquent, il est recommandé qu'un ingénieur géotechnique expérimenté étudie les conditions du sol du site afin d'informer la conception structurelle des fondations.

### 5.2 Support de socle approprié

Les études de sol peuvent dicter le type et la profondeur des fondations du bâtiment. Une gamme de types de fondations possibles est présentée dans le document *CobBauge Standard Details*. Le projet CobBauge ayant pour objectif de réduire le carbone incorporé d'un bâtiment, il est recommandé de choisir les fondations appropriées ayant le carbone incorporé le plus faible.

### 5.3 Support de la CobBauge

La conception du socle doit soutenir entièrement le mur CobBauge sur toute sa largeur. Pour un mur CobBauge standard, cette largeur sera de 600 mm. Cette construction doit fournir un support structurel complet pour la couche structurelle de CobBauge, elle ne doit donc pas contenir de cavités ou d'isolation non structurelle. Les matériaux utilisés sous la couche structurelle de CobBauge doivent avoir une capacité de charge supérieure ou égale à celle de la CobBauge structurelle.

Une isolation peut être placée sous la couche thermique de la CobBauge, mais les 100 mm extérieurs de la couche doivent être soutenus. Si cette partie du socle contient une cavité, il est recommandé d'incorporer un grillage en acier inoxydable avec une membrane géotextile par-dessus pour éviter que le matériau de terre allégée ne tombe dans l'espace, ainsi que pour fournir une base pour la couche thermique.

## 6. COFFRAGE

### 6.1 Conception et construction des coffrages

Les murs CobBauge sont construits et façonnés à l'aide de coffrages (Figure 17). Il s'agit de deux sections d'ossature, probablement une combinaison de bois et de métal, qui sont espacées sur l'épaisseur du mur CobBauge, qui est généralement de 600 mm (300 mm de couche structurale et 300 mm de couche thermique) (Figure 18). Elles sont maintenues en place par de longues tiges boulonnées ou des tiges d'armature filetées à deux ou trois endroits sur la longueur du coffrage, en haut et en bas. Il est important que ces barres soient faciles à boulonner et à enlever. La longueur des barres doit être dimensionnée de manière à permettre d'accroître ou de réduire la largeur du coffrage en fonction de l'épaisseur du mur à construire. La conception et la méthodologie de coffrage propres à un projet doivent être réalisées par le concepteur et construites par l'entrepreneur.



Figure 17 : Exemples de coffrage métallique (gauche) et en bois (droite). Photos : ESITC Caen (2022) (gauche), Plymouth University, projet CobBauge (2021).

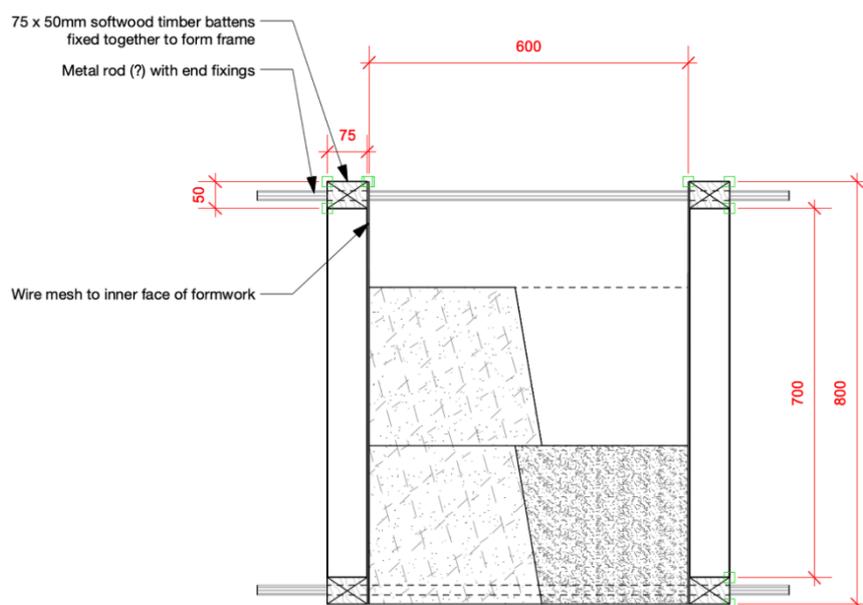


Figure 18 : Dessin en coupe transversale de coffrage et de matériau CobBauge.  
Source : Fox Ecological Architects (2022).

Un grillage métallique, avec des mailles carrées d'environ 25 mm<sup>2</sup>, est situé sur les bords intérieurs du cadre du coffrage en bois. Le but de ce grillage est de faciliter le processus de séchage du mur, de fournir un indicateur visuel de la compaction du matériau dans le coffrage, ainsi que de faciliter le retrait du coffrage après l'achèvement d'une levée de mur CobBauge. Le matériau qui, durant le compactage, traverse le grillage doit être raclé pendant qu'il est encore humide et réintégré au mélange. Cette procédure réduit le gaspillage de matériaux et facilite encore plus le décoffrage.

Le coffrage CobBauge n'a pas de longueur ni de hauteur prescrite, mais le concepteur et l'entrepreneur doivent être attentifs à son poids et à sa maniabilité. Une section de coffrage CobBauge générique peut avoir une longueur comprise entre 1 et 3 mètres ; 1 m étant le plus facile à déplacer et 3 m devenant plus lourd et plus difficile (Figure 19). Bien qu'il soit possible de relier plusieurs sections courtes entre elles, cela rend plus difficile l'obtention d'un mur fini droit et d'aplomb. La hauteur du coffrage doit être suffisante pour une levée de CobBauge, qui peut varier d'environ 500 à 650 mm de hauteur. Un coffrage générique CobBauge a une section de 750 mm de haut pour garantir que le matériau est entièrement contenu.

Il est important que le coffrage reste droit et d'aplomb. Pour s'assurer que la largeur du coffrage reste constante, une cale d'espacement pré-mesurée peut être utilisée en haut de la charpente (Figure 20). Le bas du coffrage devrait alors rester à la largeur correcte et cohérente en se basant sur le haut de la levée de CobBauge précédente, ou sur le socle dans le cas de la première levée.

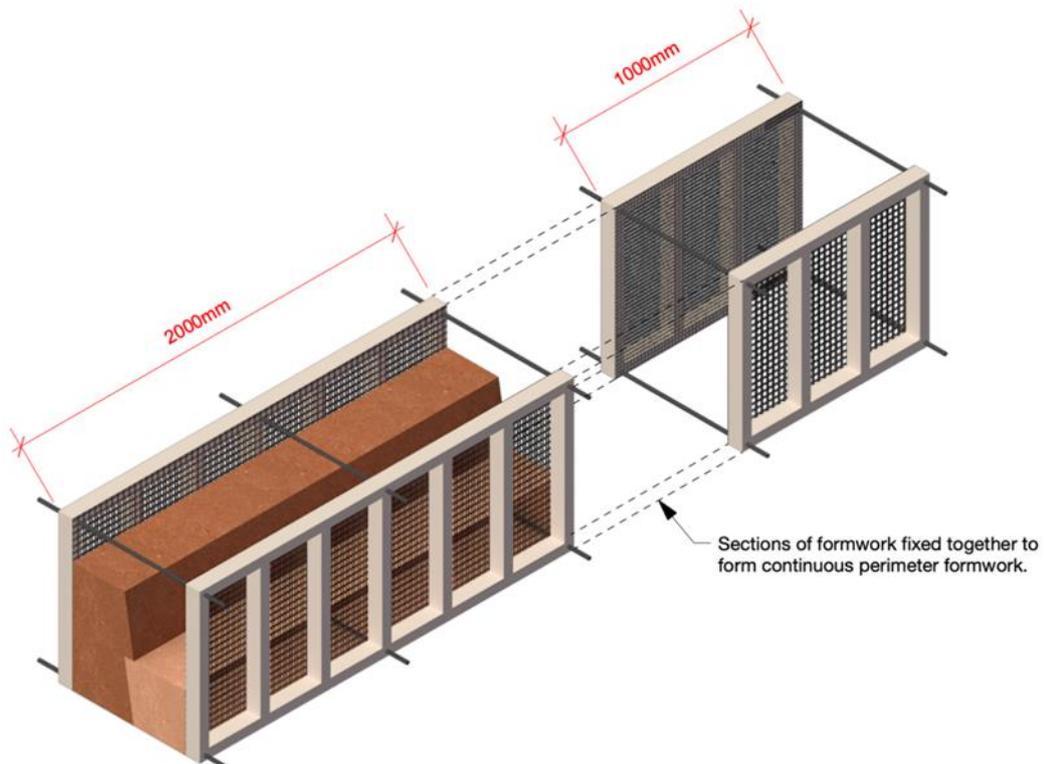


Figure 19 : Dessin en 3D d'ensembles de coffrage et de matériau CobBauge. Source : Fox Ecological Architects (2022).



Figure 20 : Photo montrant l'espace d'un coffrage en utilisant une barre d'espace en bois. Photo : François Streiff.

## 6.2 Élaboration d'une levée de CobBauge et d'outils CobBauge

Pendant la construction, pour séparer la couche structurale de la couche thermique à l'intérieur du coffrage, on utilise un outil de mise en place en bois, qui se compose de deux surfaces de bois inclinées (voir les Figures 21 & 22).

Cet outil permet de former une seule de ce qui seront des couches successives, typiquement d'une hauteur de 200 à 250 mm. La légère inclinaison du bois (environ 10°) est ce qui donne au mur CobBauge sa section en zigzag entre les deux couches de matériaux différents (voir Figure 23). L'inclinaison de la face de cet outil permet également de le retirer plus facilement après le compactage du matériau. Les dimensions de l'outil de pose doivent être adaptées par le concepteur, puis construites par l'entrepreneur, à la largeur de la couche structurale et à la hauteur de ce que seront les couches successives du projet. Il est conseillé de fabriquer plusieurs outils de placement afin que plusieurs constructeurs puissent travailler en même temps sur la levée de CobBauge et accélérer sa construction.

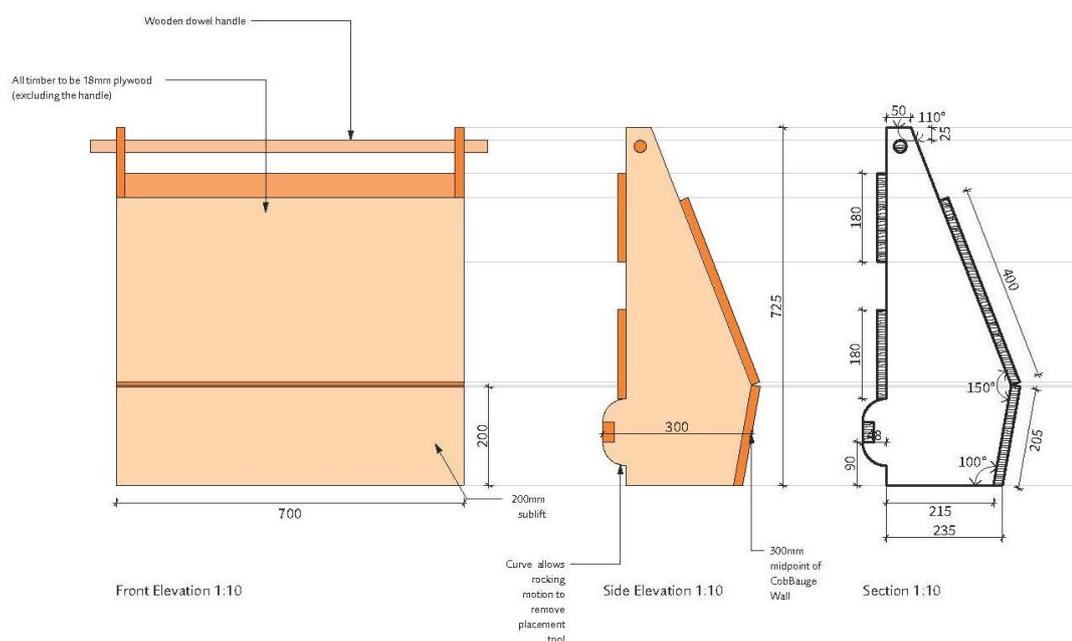


Figure 21 : Dimensions d'un outil de pose CobBauge. Source : Hudson Architects (2022).



Figure 22 : Aperçus en 3D d'un outil de pose CobBauge. Source : Hudson Architects (2022).



Figure 23 : Jointure en dents de scie angulaires entre couches structurelles et thermiques. Photos : University of Plymouth, projet CobBauge

Nota : Une levée est composée d'environ trois couches successives. Chacune d'entre elle est composée d'une couche structurelle et d'une couche thermique.

Pour poser les matériaux de CobBauge, l'outil de pose doit être placé à l'intérieur du coffrage. L'outil doit être accolé au coffrage côté mur extérieur, avec le côté incliné de l'outil tourné vers le centre. Ainsi, le mélange de bauge structurelle est ensuite placé dans l'espace vide, entre l'outil de pose et le grillage du coffrage, et deviendra la couche intérieure du mur. Le mélange de bauge est généralement porté dans le coffrage à la main, à l'aide d'une fourche, et densément compacté au pied afin que la couche structurelle ne présente aucun vide (Figure 24).



Figure 24 : Outil de pose et technique de compactage par piétinement pour la couche structurelle.  
Photos : Tom Booen.

Une fois que cette section de bauge de 200 à 250 mm de haut a été posée le long des murs de l'ensemble du bâtiment, l'outil de pose est retiré et la couche correspondante de la couche thermique peut être construite. Il s'agit de placer le mélange de terre allégée dans l'espace vide, de manière à ce qu'il soit collé contre la face de la bauge structurelle et le coffrage, et de le compacter à l'aide d'un outil de damage manuel. La Figure 25 montre un exemple d'outil de damage manuel, qui consiste en une plaque de contreplaqué fixée à l'extrémité d'un manche de pioche.



Figure 25 : Outil de damage et technique pour la couche thermique. Photos : Tom Booen.

La couche thermique nécessite beaucoup moins de force que la couche structurale. Il est important de veiller à ne pas trop compacter ce matériau, car cela réduirait ses performances thermiques. Le but de la technique de damage est de faire adhérer la terre allégée ensemble et de supprimer les grands vides indésirés, plutôt que de la comprimer.

Après que chaque couche successive (des couches thermique et structurale) ait été posée dans le coffrage, de la paille de chanvre de 300 à 450 mm est placée perpendiculairement à la longueur du mur, tous les 600 mm environ (Figure 26). Cette opération doit également être effectuée avant la première couche d'une nouvelle levée. Cela vise à permettre de lier les deux couches ensemble et de réduire la probabilité de fissuration pendant le séchage du mur CobBauge. Il est également recommandé d'humidifier légèrement la levée précédente avec de l'eau afin d'améliorer l'adhérence entre les couches.



Figure 26 : Paille de chanvre posée, après chaque couche successive, perpendiculaire à la longueur du mur CobBauge. Photos : Jim Carfrae.

Pour commencer la couche successive suivante, l'outil de pose est posé sur la première couche de la couche thermique, prêt à construire la couche successive suivante de bauge structurale (Figures 27 & 28). Ce processus décrit ci-dessus, qui consiste à alterner la pose d'un matériau à la fois, est ensuite répété jusqu'à ce qu'il y ait deux ou trois couches successives, qui constituent la hauteur d'une levée de CobBauge complète (500 - 650 mm de hauteur). L'achèvement d'une levée complète est signifié par le fait que le développement du mur CobBauge atteint presque le haut du coffrage.

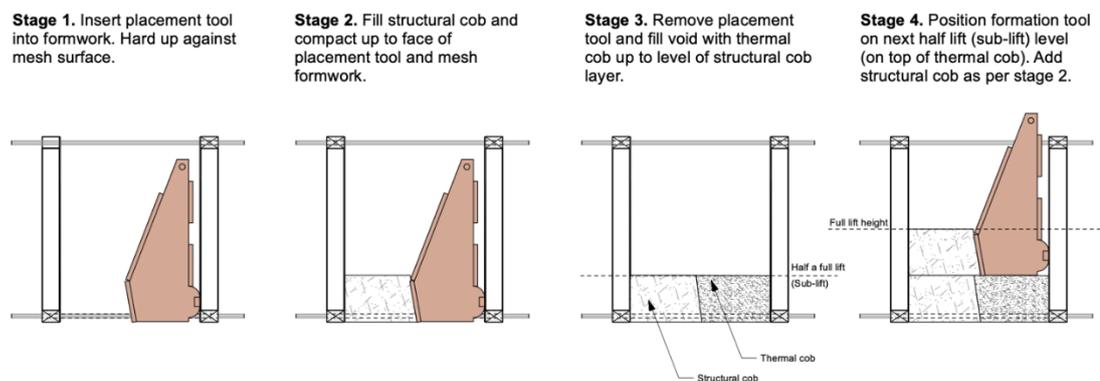


Figure 27 : Illustration de la méthodologie d'utilisation de l'outil de pose et de la pose des couches successives. Source : Fox Ecological Architects (2022).



Figure 28 : Utilisation d'un outil de pose sur site. Photo : François Streiff.

### 6.3 Vérification de compactage de la CobBauge dans les coffrages

Pour vérifier la qualité du compactage du matériau, il est conseillé de regarder à travers le grillage au fur et à mesure que les couches de matériau sont ajoutées au coffrage (Figure 29). Cela donnera une indication visuelle du compactage ou de la présence de vides dans le matériau. Grâce à une inspection régulière, si des poches d'air sont détectées, il est possible d'y remédier avant la prochaine couche successive. À ce stade, il est également conseillé d'enlever (par exemple, avec une truelle) l'excès de matériau qui a traversé le grillage (comme décrit dans la sous-section 6.1).



Figure 29 : Photo montrant le compactage de la terre allégée vu à travers le grillage. Photo : Plymouth University, projet CobBauge.

### 6.4 Repositionnement du coffrage

Lors de la pose de levées de CobBauge, les entrepreneurs doivent placer les boulons de connexion sur le dessus de la levée précédente avant de fixer les cadres de coffrage (Figure 30). Cela permet de soutenir le coffrage de la nouvelle levée. Il est important de retirer avec précaution, mais avec force, les tiges enterrées du mur CobBauge, pendant qu'il est encore humide. L'utilisation de longueurs de barres filetées sur toute la longueur facilitera le retrait en les dévissant du mur si nécessaire

Les concepteurs et les entrepreneurs devront planifier soigneusement la construction du coffrage, car il doit y avoir suffisamment de coffrage en place pour entièrement construire l'intégralité d'une levée des murs extérieurs. Lorsque le coffrage est retiré, des trous sont laissés par la tige filetée qui soutient le coffrage. Il est recommandé de les remplir avec de la laine de mouton, puis de les boucher sur la face du mur avec le matériau CobBauge approprié.

Après l'achèvement d'une levée de CobBauge, le coffrage doit être laissé en place pour sécher pendant au moins 3 jours consécutifs de temps sec, supérieur à 12°C, avant d'être repositionné. Pour permettre à la levée de CobBauge de rester soutenue aussi longtemps que possible, il est recommandé d'avoir deux ensembles complets de coffrage. Cela minimise le risque de déformation de la levée inférieure par le poids d'une levée ultérieure. Pour ce faire, les coffrages doivent être conçus de manière à s'empiler les uns sur les autres. Cela permet également de retirer et de réinstaller le rang de coffrage précédent, alors que la levée intermédiaire est encore en train de sécher, afin de conférer de la souplesse au processus de construction.

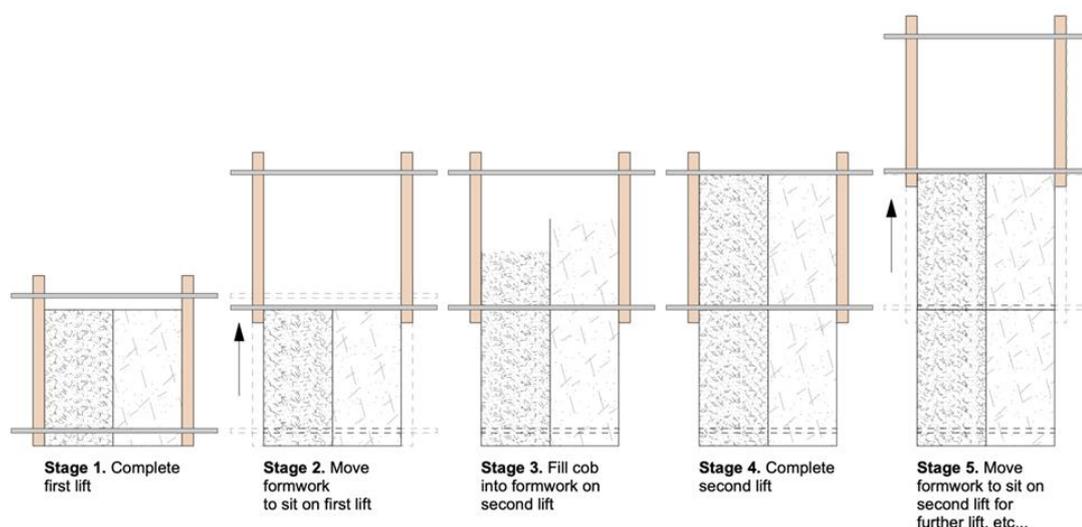


Figure 30 : Illustration de la méthode pour le soulèvement d'un coffrage. Source : Fox Ecological Architects (2022).

## 6.5 Ouvertures

La CobBauge doit être posée dans le coffrage du mur, comme à l'habitude, jusqu'au niveau d'insertion du coffrage de remplissage supplémentaire nécessaire pour l'ouverture. Ces caissons de remplissage peuvent être fixés au coffrage, en veillant à ce qu'ils restent d'aplomb et à niveau avec le coffrage du mur. Les levées de CobBauge sont ensuite placées normalement de part et d'autre du coffrage de l'ouverture, et il reste en place jusqu'à la fin de la construction.

## 7. SÉCHAGE

### 7.1 Délais entre les levées de CobBauge

Une fois qu'une levée de CobBauge a été effectuée, les entrepreneurs doivent attendre environ 2 à 3 semaines avant de poser la levée suivante. Pendant ce temps, les entrepreneurs peuvent préparer la levée suivante en repositionnant le coffrage et en préparant le nouveau matériau. À titre indicatif, il faut environ 3 jours, avec 3 ouvriers, pour construire une levée de CobBauge de 650 mm sur un bâtiment carré de 30 m<sup>2</sup>.

### 7.2 Taux d'humidité maximum pour le décoffrage

Des capteurs Ramin peuvent être fabriqués par le concepteur et intégrés dans le mur CobBauge pour évaluer l'évolution du taux d'humidité dans le temps (Figures 31 & 32). Ces relevés peuvent être utilisés pour informer le moment où le coffrage peut être retiré ou la finition appliquée.

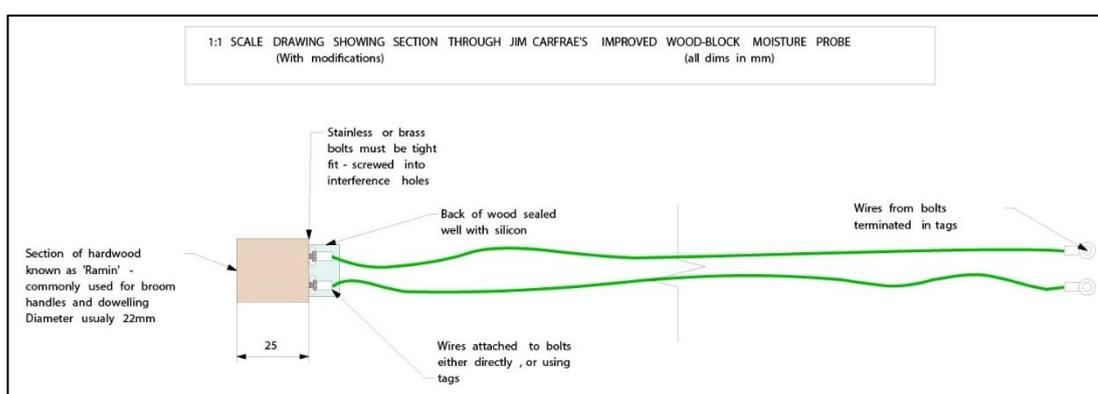


Figure 31 : Schéma d'un capteur Ramin. Source : Jim Carfrae.



Figure 32. Capteurs Ramin installés dans une première levée de CobBauge. Source : François Streiff.

## **8. OUVERTURES**

### **8.1 Ouvertures de portes**

À compléter.

### **8.2 Ouvertures de fenêtres**

À compléter.

### **8.3 Ouvertures plus grandes**

À compléter.

## 9.0 Problèmes potentiels rencontrés sur le site

Cette section aborde certains des problèmes auxquels un entrepreneur peut être confronté sur le site en relation avec la construction d'un mur CobBauge.

### 9.1 Précipitations pendant la construction.

L'impact de la pluie sur la CobBauge, pendant la construction, dépend de la sévérité du temps.

- **En cas d'averses légères** et non prolongées, les couches structurales et thermiques peuvent être laissées sans protection, et la construction peut se poursuivre.
- **En cas de forte pluie**, d'averse légère prolongée ou si un temps humide est prévu pendant la construction de la CobBauge, les murs et les mélanges de matériaux doivent être couverts pour être protégés.

Si l'on ne protège pas les murs et les mélanges de matériaux contre les fortes pluies, la teneur en eau du mur CobBauge sera modifiée, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur le temps de séchage et la stabilité structurelle. Il est donc conseillé de protéger les murs et les mélanges de matériaux autant que possible pendant le processus de construction.

Pour ce faire, on peut utiliser des bâches ou des planches de bois posées sur le dessus du coffrage. Dans les deux cas, les couvertures doivent être lestées pour s'assurer qu'elles restent en place (Figures 33 & 34). L'utilisation de panneaux de contreplaqué est la méthode préférable car elle permet de garder les côtés du mur CobBauge bien ventilés, ce qui facilitera son processus de séchage.

La protection des mélanges de matériaux non utilisés doit également être une priorité. Cela peut être effectué en plaçant des feuilles de polyéthylène ou des bâches sur les matériaux. Ce type de protection devrait être utilisé de toute façon, pour éviter que les mélanges de matériaux ne sèchent à cause du vent et de l'exposition au soleil (voir la sous-section 9.3).



Figure 33 : Plaques de bois protégeant le haut d'un mur en CobBauge. Photo : François Streiff.

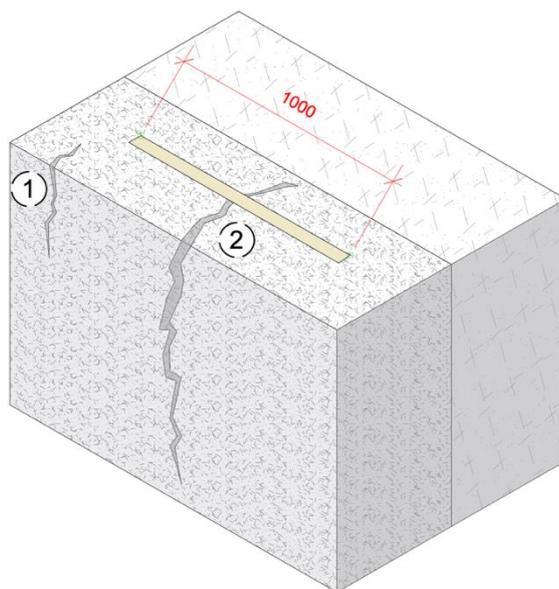


Figure 34 : Bâche recouvrant le mélange de bauge. Photo : Katey Oven.

### 9.2 Fissures dans les couches de CobBauge

Il n'est pas rare de rencontrer des fissures dans les couches de CobBauge. Cela peut être dû à des raisons variées, comme un séchage différentiel. L'étendue et la taille de la fissure doivent être considérées avant d'entreprendre une action de remédiation.

- **Les petites fissures** (voir le numéro 1 de la Figure 35) dans le mur peuvent être remplies de barbotine avant de commencer une nouvelle couche successive.
- **Les grandes fissures** (voir le numéro 2 de la Figure 35) doivent également être remplies de barbotine ou du mélange structurel/thermique approprié, en fonction de l'emplacement et du type de fissure. Les fissures de grande taille doivent également être protégées en haut de leur ouverture par une longue latte de bois, qui doit être enfoncée dans le matériau sur la longueur du mur, la fissure se trouvant au milieu de cette latte. Cela devrait contribuer à empêcher la fissure de se propager dans les couches suivantes.



*Figure 35 : Illustration des types de fissures dans un mur en CobBauge et protection avec latte de bois. Source : Fox Ecological Architects.*

### 9.3 Stockage sur site

Si les mélanges structurel et thermique sont préparés avant leur utilisation dans la construction, le stockage de ces matériaux est important, car il est difficile de conserver leur teneur en humidité lorsqu'ils sont exposés aux éléments. Alors que le soleil et le vent peuvent altérer le mélange et le rendre trop sec, les précipitations peuvent le rendre trop humide. Si ces scénarios se produisent, il est difficile de retrouver la teneur en humidité optimale des mélanges de matériaux avec précision. Par conséquent, il est recommandé que tous les matériaux CobBauge pré-préparés soient stockés de manière appropriée (voir sous-section 9.1).

## 10.0 Échafaudage pour un bâtiment CobBauge

Il est fort probable qu'un échafaudage soit nécessaire pour la construction d'un mur ou d'un bâtiment CobBauge. Il est conseillé de procéder en deux étapes à l'installation d'un échafaudage sur un projet CobBauge.

### 10.1 Étape 1 : Travailler à partir du sol

Lorsqu'ils travaillent sur la première ou la deuxième levée d'un mur CobBauge, les entrepreneurs pourront constater qu'il est relativement facile de travailler depuis le niveau du sol ou depuis une simple plate-forme (Figure 36). Cela leur permettra de se déplacer librement sur le site pendant les premières étapes de la construction.



Figure 36 : Utilisation d'une petite plateforme d'échafaudage afin d'aider la construction de bas niveau. Photos : Plymouth University, projet CobBauge.

### 10.2 Étape 2 : Montage d'un échafaudage

Lorsque le mur s'élève au-delà de deux levées, il devient difficile de former d'autres levées de CobBauge en toute sécurité (Figure 37). Par conséquent, un échafaudage doit être érigé. Les entrepreneurs doivent décider s'il faut dresser des échafaudages sur les côtés intérieurs ou extérieurs du mur CobBauge ou sur les deux.



Figure 37 : Échafaudage à l'intérieur et à l'extérieur d'un mur de CobBauge pendant sa construction. Photo : Plymouth University, projet CobBauge.

S'il est décidé de n'utiliser l'échafaudage que d'un seul côté, il faut faire très attention lors de la manœuvre des panneaux de coffrage. Les entrepreneurs doivent s'assurer que les normes habituelles de santé et de sécurité sont respectées lors du travail sur l'échafaudage, du déplacement des coffrages et des matériaux sur l'échafaudage, et lors du levage des matériaux à un niveau supérieur.

Pour protéger les murs CobBauge des intempéries pendant la construction, les entrepreneurs pourraient envisager un échafaudage complet avec une bâche pour couvrir toute la zone du bâtiment. De telles mesures pourraient également réduire le risque de séchage différentiel, et donc de retrait, dû à l'exposition solaire pendant les mois les plus chauds.

## **11.0 DÉPLACEMENT DES MATÉRIAUX COBBAUGE SUR LE SITE**

### **11.1 À la main**

À un niveau très basique, les mélanges structurel et thermique peuvent être déplacés sur le site à l'aide de brouettes ou de chariots et ajoutés au coffrage à la main, à l'aide de bêches et de fourches. Pour éviter les blessures, il faudra veiller à ne pas surcharger les brouettes et à pelleter le matériau par charges de taille raisonnable.

### **11.2 Par machine**

La machinerie peut être utilisée pour faciliter le transport des mélanges de matériaux sur le site et dans le coffrage. La construction mécanisée de CobBauge comprend l'utilisation de chariots télescopiques (chargeuse frontale), avec une fourche et un sac ou un godet et des chariots élévateurs. Ces machines peuvent également être utilisées pour soulever le matériel lorsqu'il s'agit l'amener à des niveaux élevés sur les échafaudages, où les entrepreneurs peuvent déplacer le matériel à la main. Celles-ci peuvent aussi être utilisées pour porter et verser directement le matériau dans le coffrage. D'autres aides mécaniques peuvent être utilisées, comme une grue mobile, une nacelle élévatrice ou un ascenseur électrique sur le système d'échafaudage.

## **12.0 SERVICES COURANTS DANS UN MUR COBBAUGE**

Les services électriques, internet, téléphonie et eau qui sont conçus pour être dissimulés dans la couche structurelle intérieure de CobBauge doivent être « encastrés » dans le matériau avant d'être recouverts d'enduit.

## **13.0 INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES**

Vous trouverez de plus amples informations dans le document Assurance Qualité, qui accompagne le présent document.

En outre, si le concepteur a des questions spécifiques relatives à un bâtiment CobBauge, il est conseillé de contacter l'administrateur du contrat ou l'équipe de recherche CobBauge ([cobbauge@plymouth.ac.uk](mailto:cobbauge@plymouth.ac.uk)).

## 14.0 RÉFÉRENCES

**CobBauge Interreg Project** (2018). Available at: <http://www.cobbauge.eu/en/>

**EBUKI, Earth Building UK and Ireland** (2022). Available at:

<http://ebuki.co/projectcobbauge.htm#sthash.v7sDkxob.dpbs>

**Esitc Caen, Graduate School of Construction Engineers of Caen (FR)** (2022).

Available at: <https://www.esitc-caen.fr/en/cobbauge>

**Fox Ecological Architects, Devon (UK)** (2022). Available at: <http://www.foxecoarc.com/>

**Hudson Architects, Norfolk (UK)** (2022). Available at: <https://hudsonarchitects.co.uk/>

**Plymouth University, Plymouth, Devon (UK): Lead partner of the CobBauge project (UK)** (2022). Available at:

<https://www.plymouth.ac.uk/research/cornerstone-heritage/cobbauge-project>

**PnrMCB, Regional Nature Park of the Marshes of Cotentin and Bessin,** (2022).

Available at: <https://parc-cotentin-bessin.fr/cobbauge>

**LUSAC Laboratory, University of Caen Normandy, (FR)** (2022).

## 15.0 EXEMPLES DE SOURCES DE MATÉRIAUX

### Tige filetée

TAM Mandelli – Setra : <https://www.mandelli-setra.fr/produits/materiels-de-coffrage/tiges-accessoires/> Où les produits suivants ont été utilisés avec succès :

Tiges réf 007549 et écrous réf 007810.

Une alternative britannique est :

DY.CO DYWIDAG Form Ties : <https://www.dywidag-formties.com/products/threadbars/> où une tige et un écrou à filetage similaire peuvent être trouvés.



