

**Maison Dufort**  
**Chantier-école à Port-au-Prince Haïti**



Fondasyon konesans ak libète  
Fondation connaissance et liberté



Prince Claus Fund for  
Culture and Development



## Remerciements

Ces fiches techniques, ainsi que les contributions du WMF, ont été rendues possibles grâce aux efforts conjoints de plusieurs institutions :

Fondation Connaissance et Liberté (FOKAL)  
Prince Claus Fund (PCF)  
L'institut du Patrimoine wallon (IPW)  
L'institut de Sauvegarde du Patrimoine National (ISPAN)

Le processus éditorial pour ces fiches est le fruit d'un effort collaboratif, mais deux personnes ont travaillé assidûment pour que le niveau de langue et les détails techniques soient aussi exacts que possible :

Lucie Couet, FOKAL  
Patrick Lacroix, IPW

Ces fiches ont été grandement améliorées grâce à la relecture et les commentaires faits par :

Michèle D. Pierre-Louis,	Thierry Cherizard, FOKAL
Présidente, FOKAL	Marcel Osvald, IPW
Lorraine Mangonès,	Eddy Pierret, IPW
Directrice exécutive, FOKAL	Anselme Dutrecq, IPW
Farah Hyppolite, FOKAL	Steve Kelley, WMF

Les corrections faites par l'équipe des stagiaires qui ont réalisé les travaux présentés dans ces pages étaient essentielles pour rendre ces fiches plus précises :

Héril Ambroise	Marc Daniel Jean Jacques
Donel Bélanger	Jean Lucknor Lefèvre
Jean Paul Casimir	Bijou Lifaite
Jean Soner Délicat	Yvenaud Noël
Kénold Dutreuil	Bruno Raymond
Evins Honoré	

Les menuisiers ont contribué aussi à la fiche concernant la réinstallation de l'escalier :

Ducarmel Similien  
Jean Louis Augustin  
Pety Augustin  
Dérinel Loiseau  
Ricadeau Thomas  
Pascal Aréus



Equipe du World Monuments Fund :

Lisa Ackerman, Vice-présidente et Directrice générale  
Erica Avrami, Directrice de la Recherche et de l'Education  
Norma Barbacci, Directrice des programmes pour l'Amérique Latine et les Caraïbes  
Yiannis Avramides, Gestionnaire des programmes  
Ben Jeffs, Directeur des programmes  
Ken Feisel, Directeur artistique

# Mot d'introduction

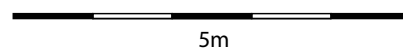
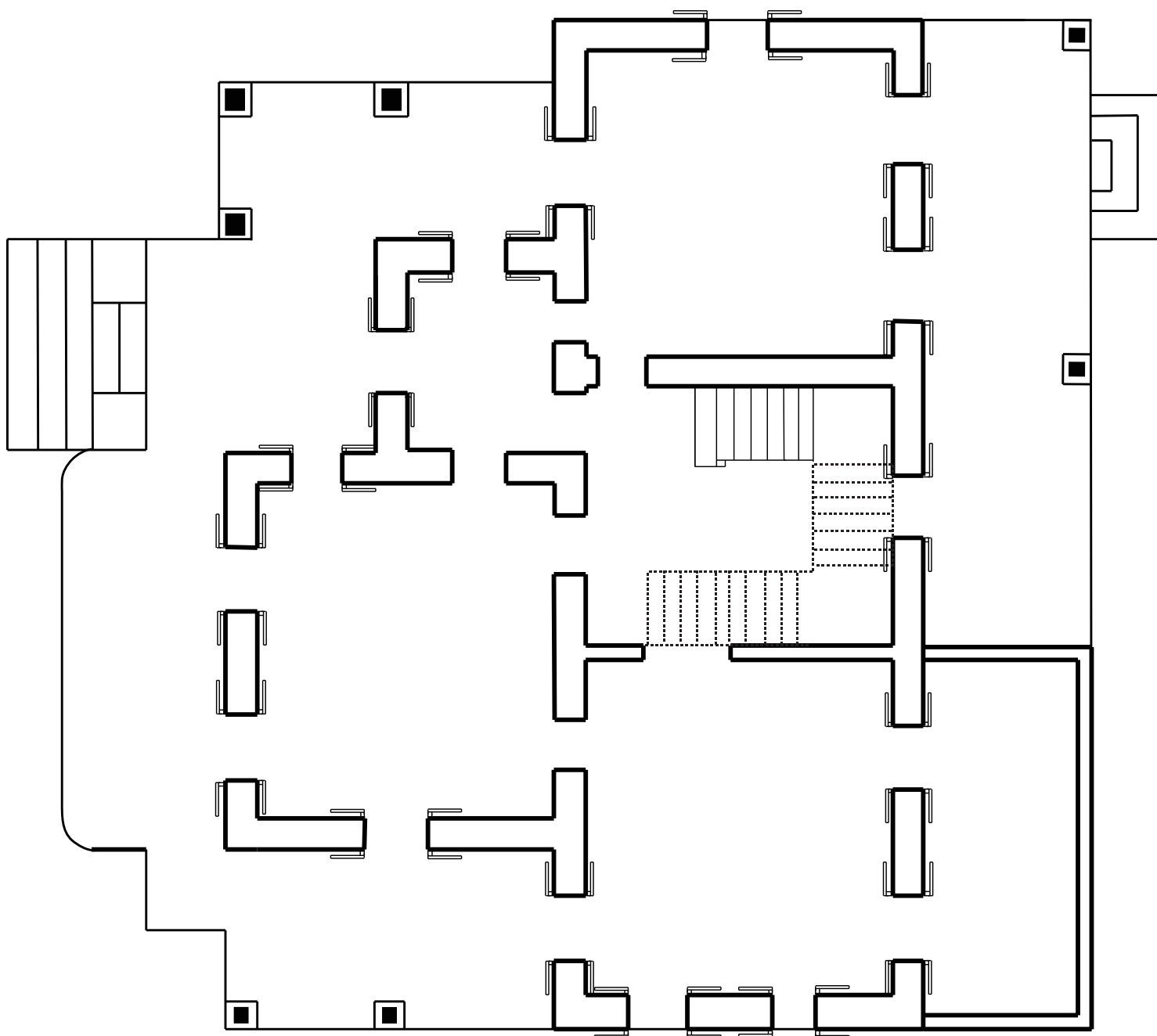
Cette série de fiches techniques a été réalisée par le World Monuments Fund (WMF) pendant le chantier-école qui s'est déroulé à la maison Dufort à Port-au-Prince entre 2012 et 2016, dans le cadre d'une coopération entre plusieurs partenaires parmi lesquels : La Fondation Connaissance et Liberté (FOKAL), le Prince Claus Fund (PCF), l'Institut de Sauvegarde du Patrimoine National (ISPAN), et l'Institut du Patrimoine wallon (IPW). Si cette série ne traite pas le sujet de la restauration dans son intégralité, elle aborde les aspects les plus utiles pour la restauration des maisons du style Gingerbread. Ces fiches serviront d'aide mémoire et de ressource technique pour les stagiaires qui faisaient partie de l'équipe à la maison Dufort et pour les artisans des chantiers à venir dans le quartier Gingerbread de Port-au-Prince, ou dans les autres villes d'Haïti. Ces fiches ont été éditées en noir et blanc pour les rendre plus faciles à copier et à utiliser sur un chantier.

WILL RAYNOLDS, *éditeur et illustrateur*

Février 2016

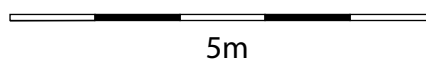
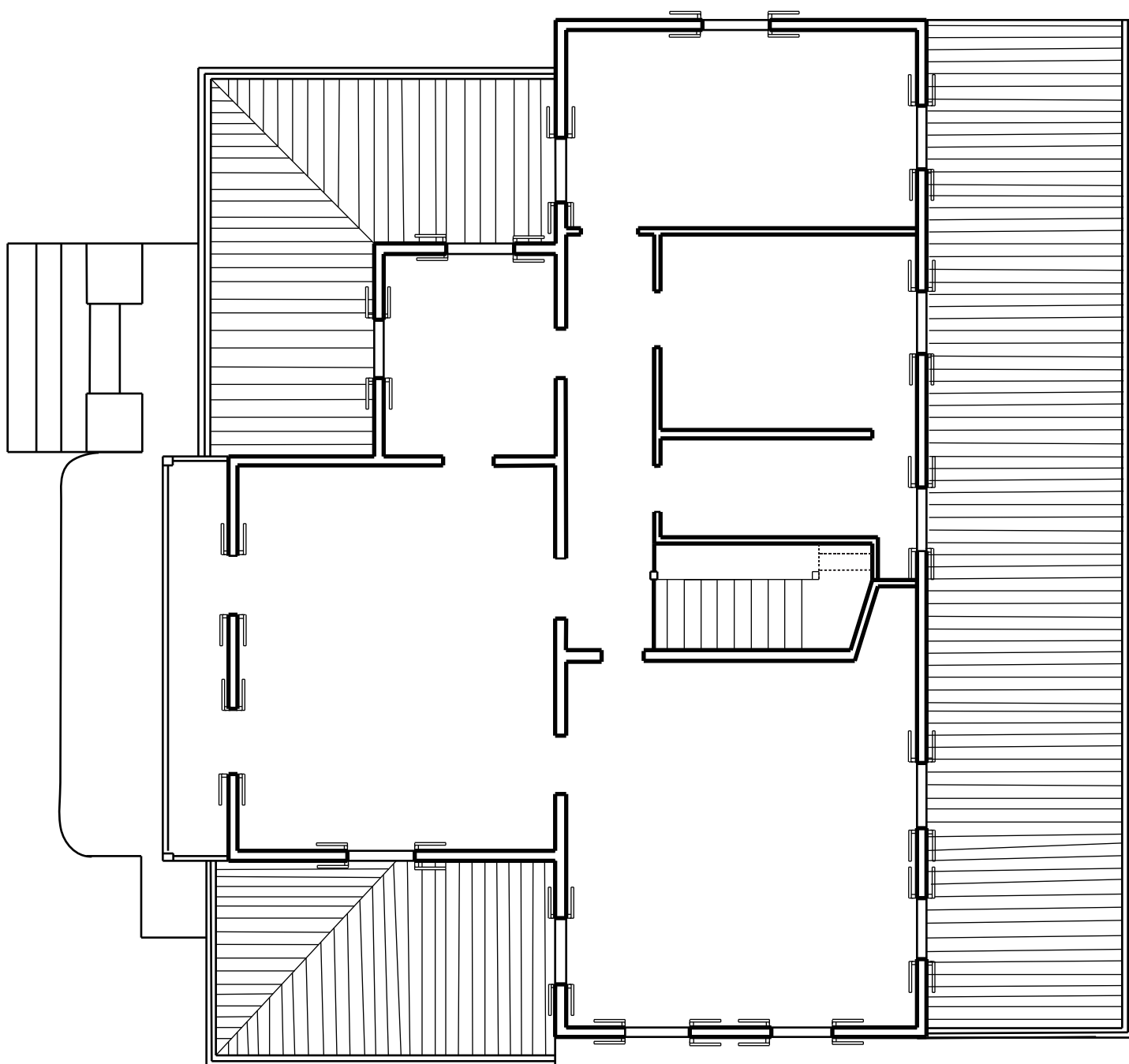
## Table des matières

<b>2</b>	<b>Remerciements</b>
<b>4</b>	<b>Plans de la maison</b>
<b>11</b>	<b>Étayage</b>
<b>21</b>	<b>La fondation</b>
<b>29</b>	<b>La maçonnerie basique</b>
<b>43</b>	<b>La chaux</b>
<b>49</b>	<b>Le système parasismique</b>
<b>59</b>	<b>La remise en place de l'étage</b>
<b>67</b>	<b>Les termites</b>
<b>75</b>	<b>La restauration du pan de bois</b>
<b>87</b>	<b>La remise en place de l'escalier</b>
<b>99</b>	<b>Les enduits</b>



## Maison Dufort

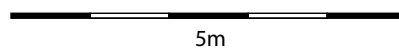
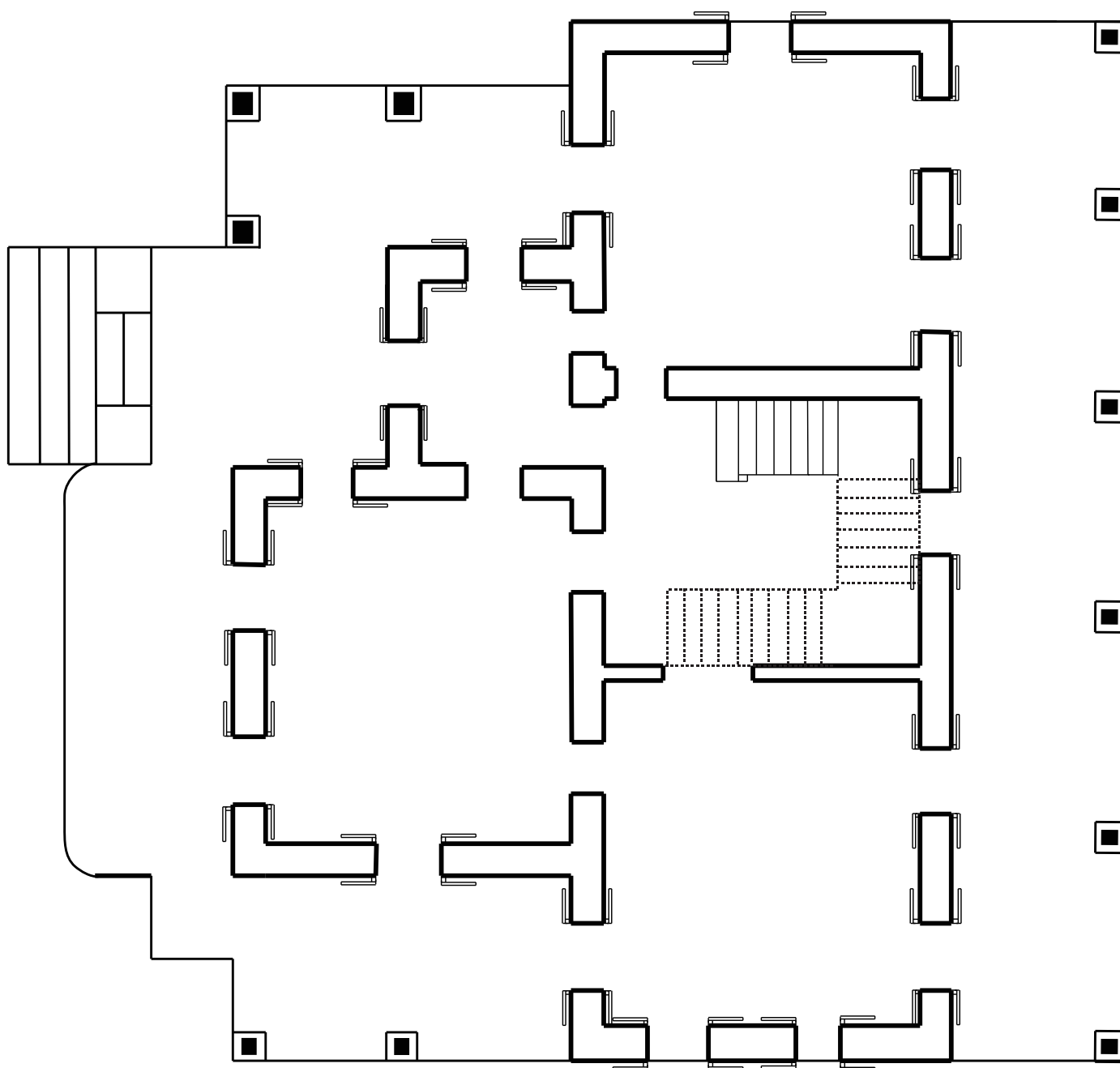
Avant le séisme du 12 janvier 2010  
Rez-de-chaussée



# **Maison Dufort**

Avant le séisme du 12 janvier 2010

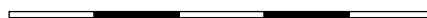
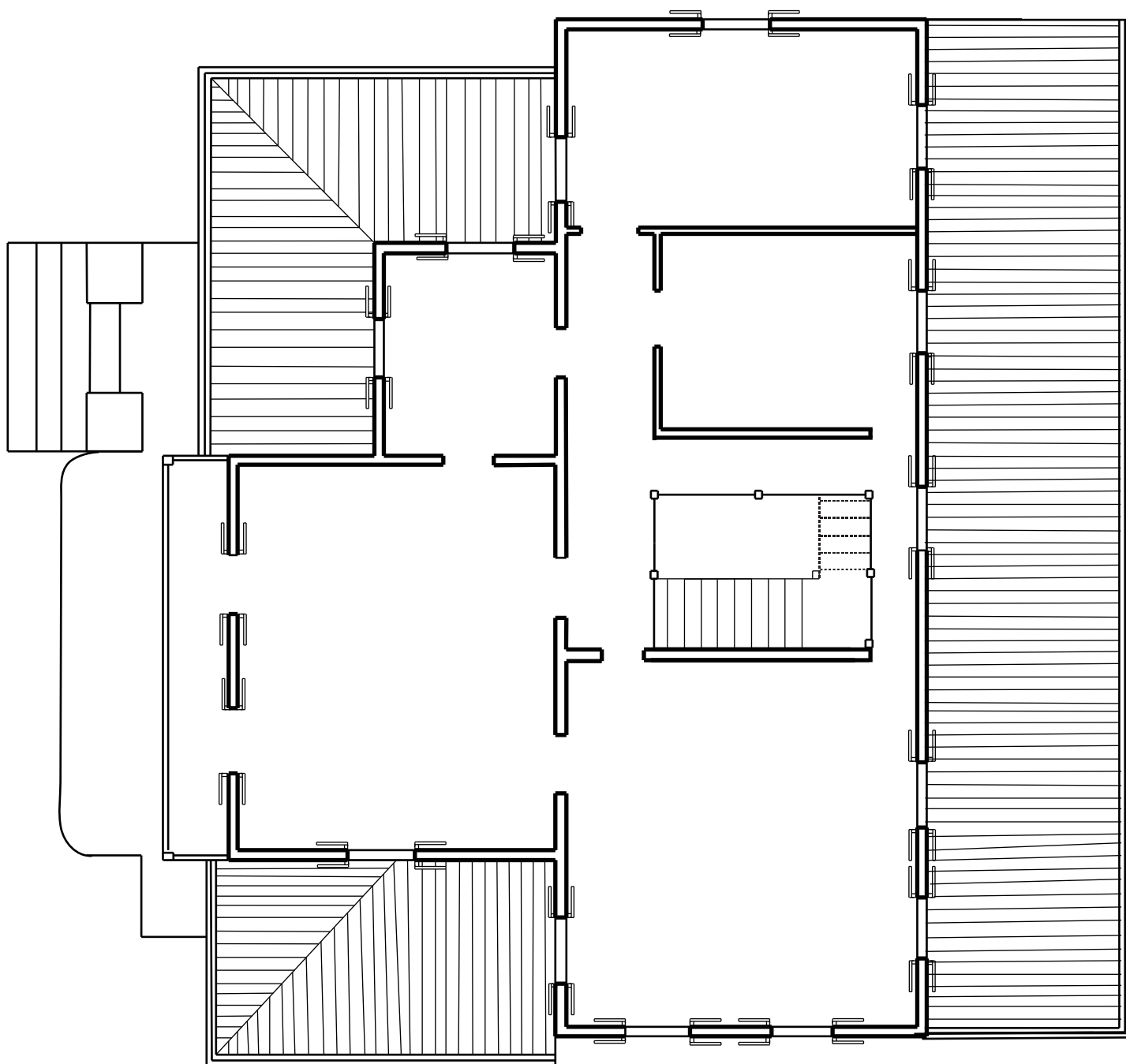
Premier étage



## Maison Dufort

Après la restauration de 2012-2016

Rez-de-chaussée

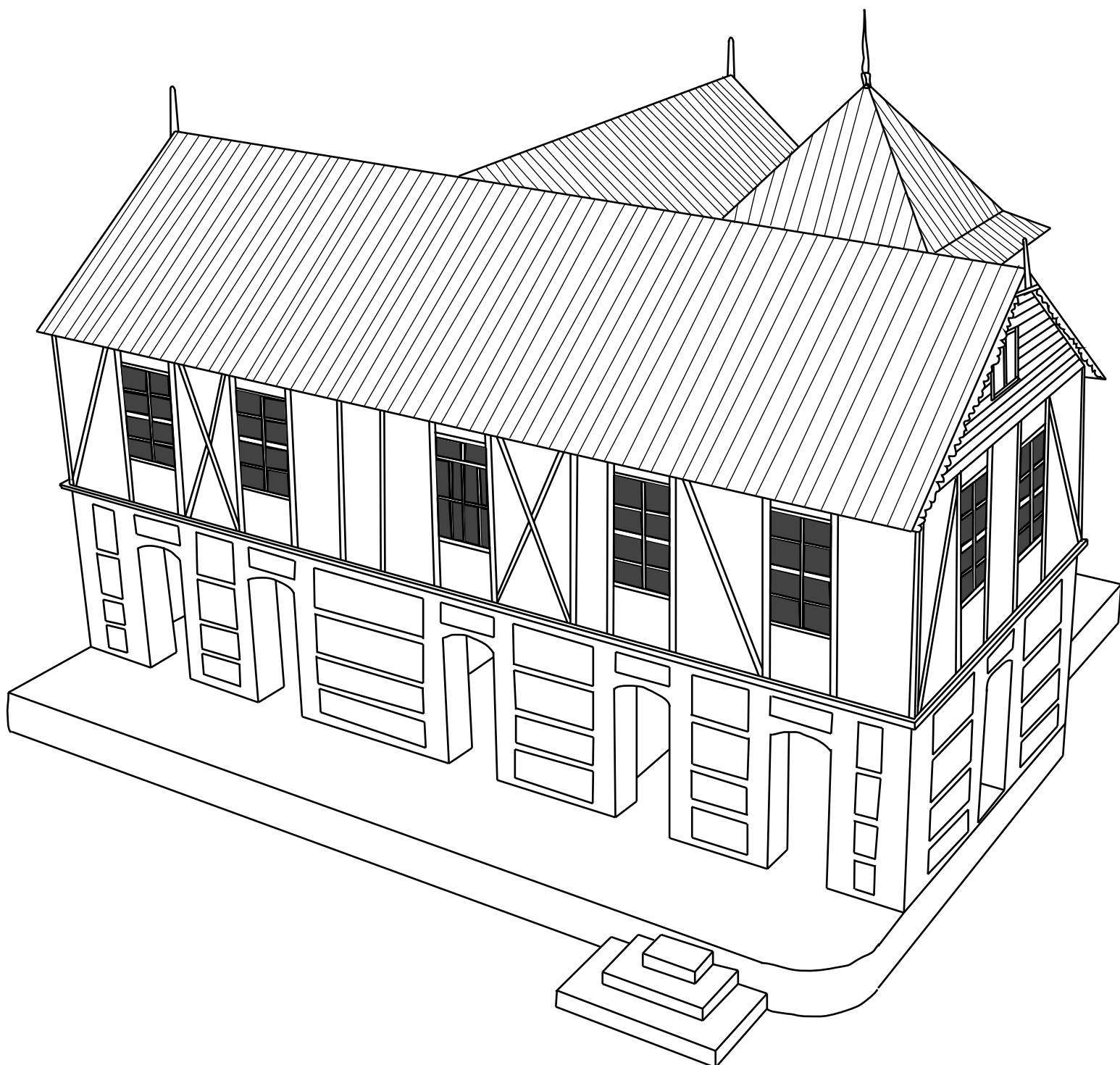


5m

## Maison Dufort

Après la restauration de 2012-2016

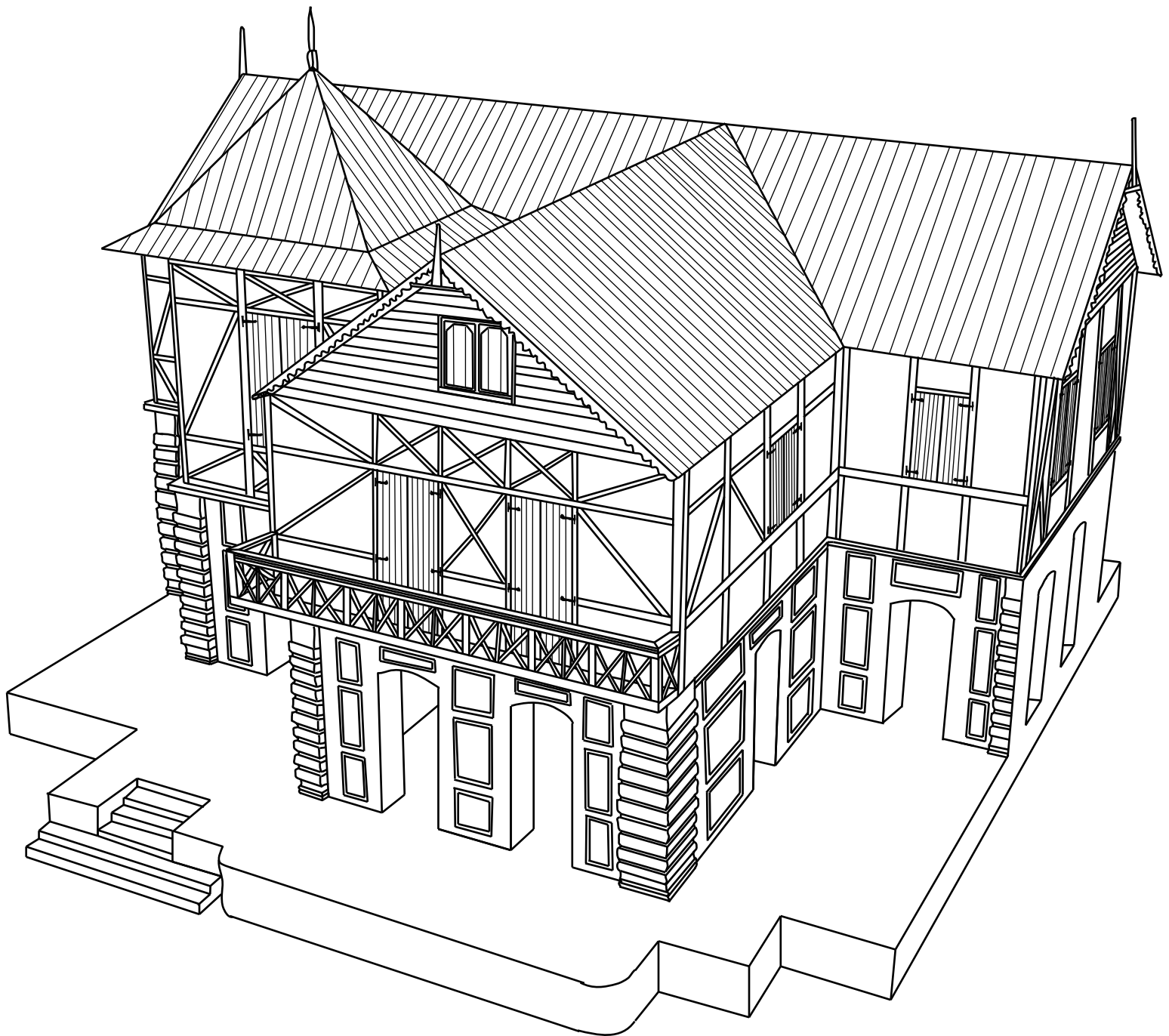
Premier étage



## **Maison Dufort**

Après la restauration de 2012-2016  
façades ouest et sud, sans galeries





## **Maison Dufort**

Après la restauration de 2012-2016  
façades est et nord, sans galeries





# **Étayage basique**

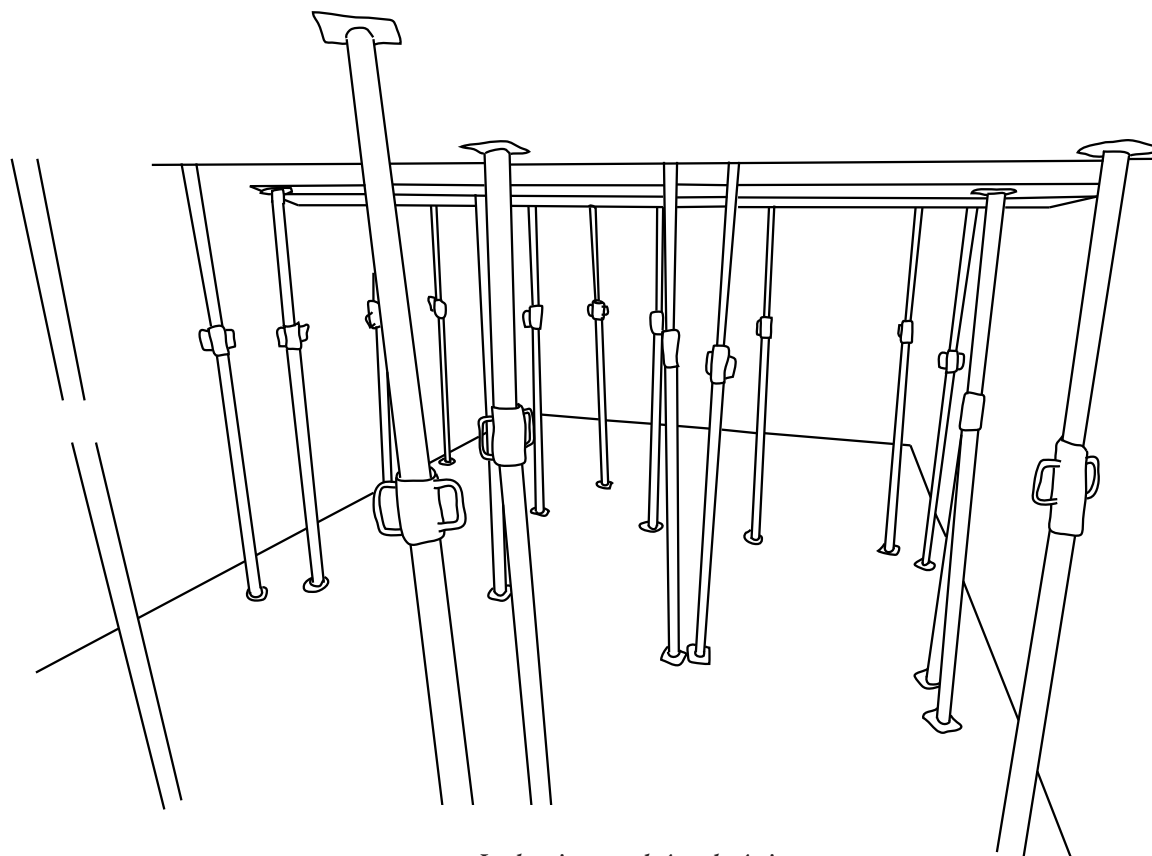
Après le tremblement de terre du 12 janvier 2010 et l'inventaire du quartier « Gingerbread » qui a eu lieu sous la direction de FOKAL avec le partenariat du World Monument Fund, d'ICOMOS et de l'Institut de sauvegarde du patrimoine national, la maison « Dufort » a été identifiée pour la création d'un chantier-école de restauration patrimoniale.

Avant de commencer le travail de restauration, il fallait stabiliser la maison pour s'assurer de la sécurité du chantier. Même si la maison tenait debout après le séisme, elle avait subi des dommages importants qui ont affaibli sa structure. Après avoir acheté la maison, FOKAL a fait réaliser un échafaudage préliminaire avec des étais réglables.

FOKAL a ensuite fait appel aux architectes du cabinet IDCO pour réaliser des plans d'échafaudage. La firme GATAPHY a mis ces plans en œuvre. Il s'agissait de renforcer le soubassement de la maison, de stabiliser les murs en maçonnerie de brique du rez-de-chaussée, de supporter le premier étage à l'intérieur et de le renforcer à l'extérieur.

L'équipe de GATAPHY a remplacé les étais réglables par des planches de bois 4x4. À l'intérieur, des 4x4 ont été installés sous le faux plafond à l'emplacement des solives. Puis les 4x4 ont été reliés entre eux. À l'extérieur, des chevalements avec des vérins hydrauliques ont été installés sous les sablières.

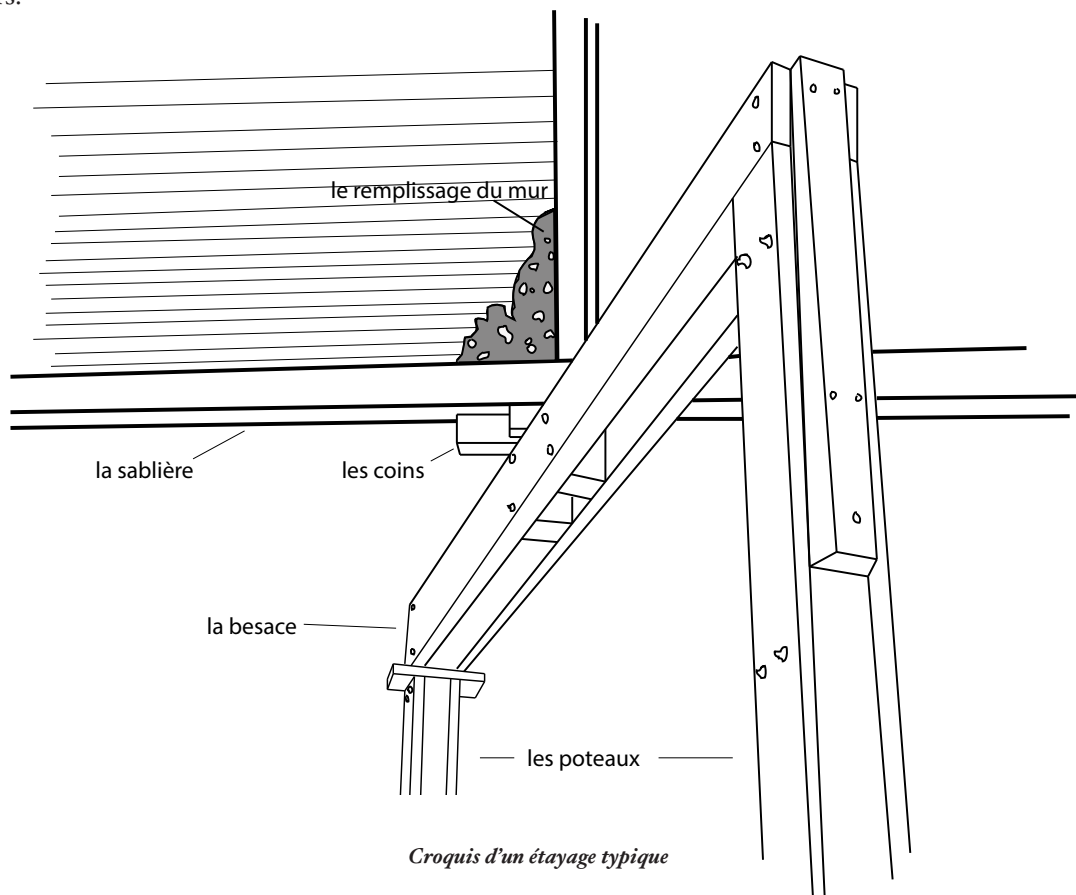
Lorsque le chantier-école a débuté et qu'il a fallu démonter les murs du rez-de-chaussée, il a paru évident qu'il fallait modifier certains aspects de l'échafaudage. Visiblement, vérins et chevalements à l'extérieur ne suffisaient pas pour retenir les murs. Les murs de l'étage s'écartaient vers l'extérieur. De plus, il y avait tant de 4x4 et d'étais à l'intérieur qu'il était difficile d'approcher les murs et plus encore d'y travailler. Il fallait mettre en place un système d'échafaudage qui puisse porter la maison tout en laissant assez d'espace pour travailler à la restauration du bâtiment.



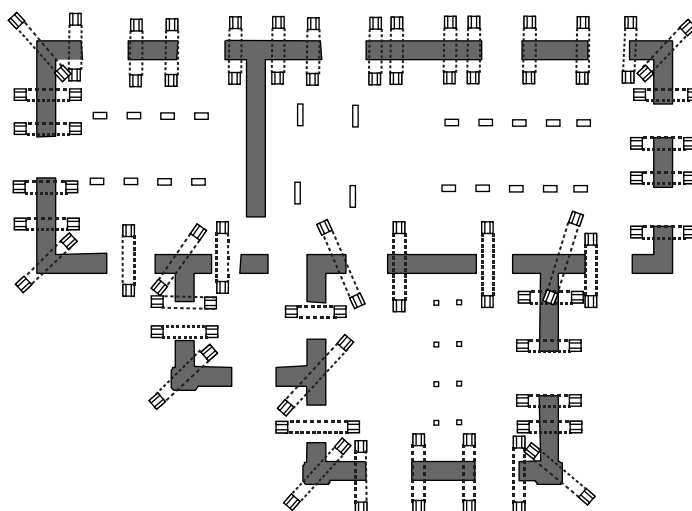
*Le chantier encombré par les étais*

## Comment choisir les endroits à étayer ?

Il faut déterminer les endroits où la charge est la plus importante, comme par exemple la jonction des solives du plancher haut du rez-de-chaussée et des sablières du premier étage. Il faut étayer les endroits où la charge descend. Voici les questions à se poser avant d'installer l'étrayage : y a-t-il une charge importante au-dessus ? Est-ce qu'il y a assez d'espace pour installer les poteaux, la besace, et ensuite travailler en-dessous ? Il y a plusieurs systèmes d'étrayage, les pages suivantes expliquent la méthode utilisée dans le chantier de la maison Dufort avant de démonter puis remonter les murs.

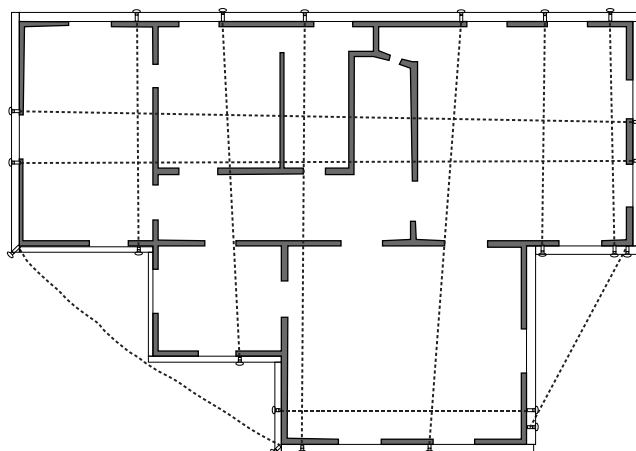


À la maison Dufort, l'étrayage était constitué de deux madriers verticaux, les poteaux, et d'un madrier horizontal, la besace.



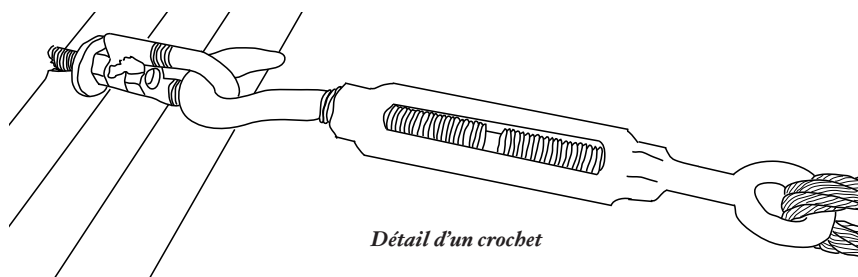
*Plan du rez-de-chaussée de la maison Dufort avec les emplacements des poteaux et besaces (en pointillé), et les poteaux supplémentaires (carrés et rectangles au centre des pièces)*

Pour stabiliser le premier étage, l'équipe de formateurs de l'Institut du patrimoine wallon a installé une ceinture de bois qui entoure la totalité de la maison. Cette ceinture est renforcée par des câbles d'acier tressé. Ce système est décrit sur le plan du premier étage. Les pointillés sur le plan représentent les câbles et les boulons symbolisent les jonctions entre les câbles et la ceinture de bois. La ceinture est à moins de 10 cm du plancher. Pour passer les câbles à travers les cloisons, on les a préalablement percées avec un foret.



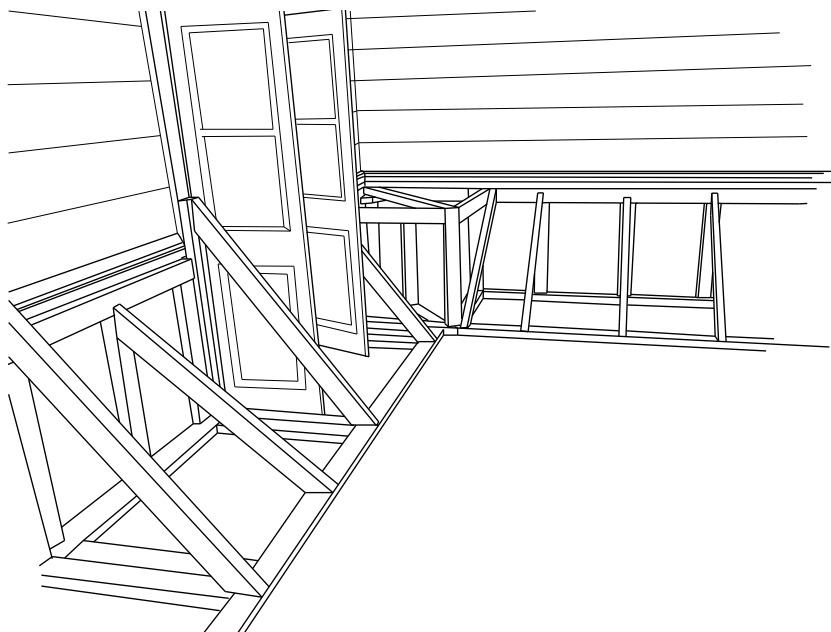
*Croquis du premier étage et la ceinture renforcée par des câbles*

Une fois les câbles installés, on les a tendus avec des crochets. Ces crochets ont été adaptés avec l'aide d'un forgeron local.



*Détail d'un crochet*

Pour mieux stabiliser le premier étage, des entretoises courtes ont été installées sur plusieurs murs intérieurs.



*Détail des entretoises à l'intérieur du premier étage*

## Préparatifs

Après avoir décidé des endroits où placer les étais, il faut les construire. Pour faire passer une besace, il faut souvent démonter des parties de maçonnerie sous la sablière. Il faut, dans ce cas, vérifier la dimension de la partie à démonter et s'assurer qu'il y aura suffisamment d'espace pour faire passer la besace. Il faut également vérifier la hauteur afin de pouvoir installer les poteaux, et la longueur de la besace afin de créer suffisamment d'espace pour travailler sous l'étagage. Il faut, généralement, au moins 70 cm entre un poteau et le mur pour pouvoir travailler.



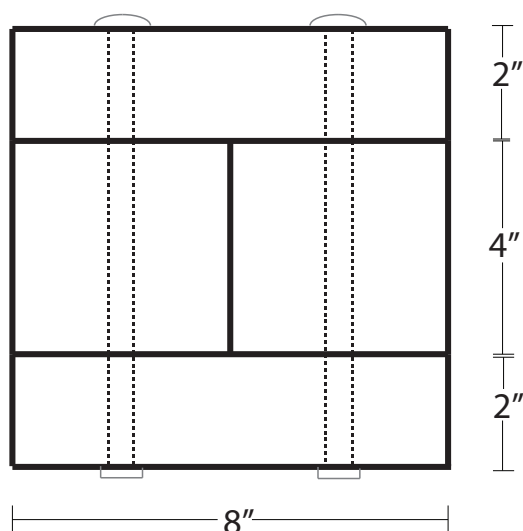
*Etude avant l'emplacement d'étagage*

Il faut ensuite choisir où seront placées les semelles des poteaux. Il est important de regarder sur quoi la semelle va reposer. En effet, en remplaçant l'étagage, l'équipe a constaté que beaucoup d'étais reposaient sur le plancher, sans aucun support sous ce plancher. Pour qu'un étagage puisse jouer son rôle, il faut qu'il porte la charge de haut en bas.

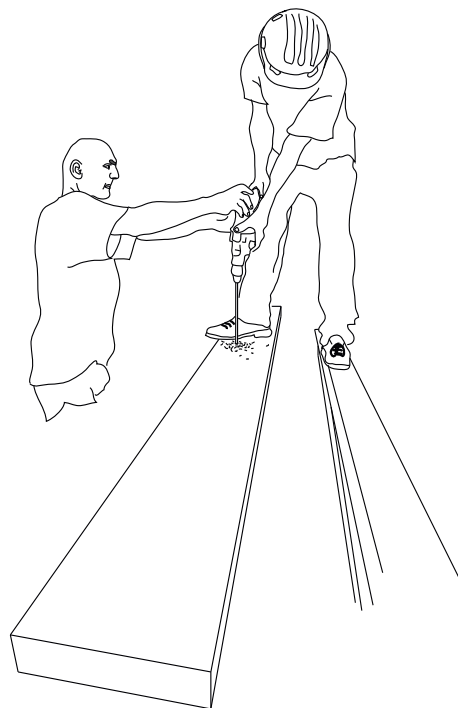
Il faut également contrôler les sablières et les solives. Parfois, il arrive qu'elles soient rongées par les termites et il faut alors les réparer, les renforcer voire même les remplacer.

## Comment fabriquer des poteaux ?

Les montants, qu'on appelle « poteaux », sont faits de deux planches de 4x4 liées entre elles avec deux planches 2x8 avec une paire de boulons transversaux. Pour chaque étais, il faut au moins deux poteaux pour porter une besace (madrier horizontal).

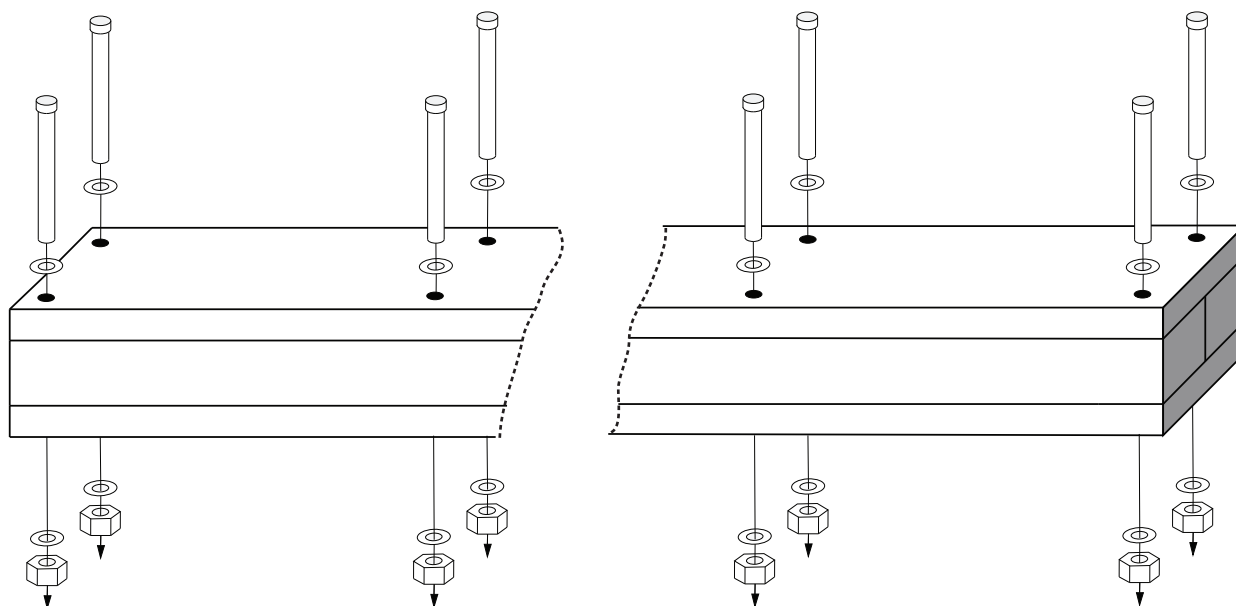


*Poteau en section*



*L'alignement du foret doit être vertical, sans quoi il sera difficile de faire passer les boulons.*

Il faut préalablement faire les trous avec un foret pour les boulons. Le trépan doit être du même diamètre que les futurs boulons (12 mm sur la maison Dufort). Pour forer, il faut serrer les planches ensemble grâce à des étaux.



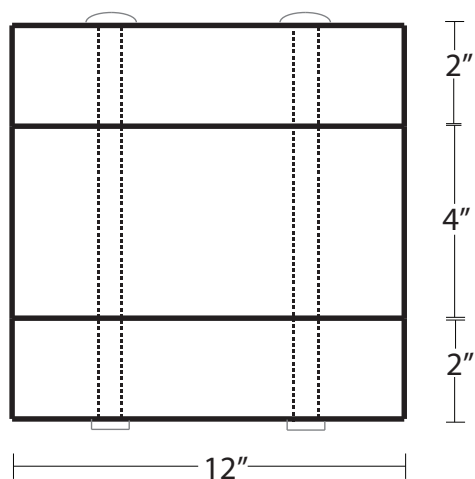
*Emplacement des boulons pour lier les éléments d'un poteau*

Les boulons ont été positionnés à une distance d'un mètre les uns des autres pour solidifier le poteau.

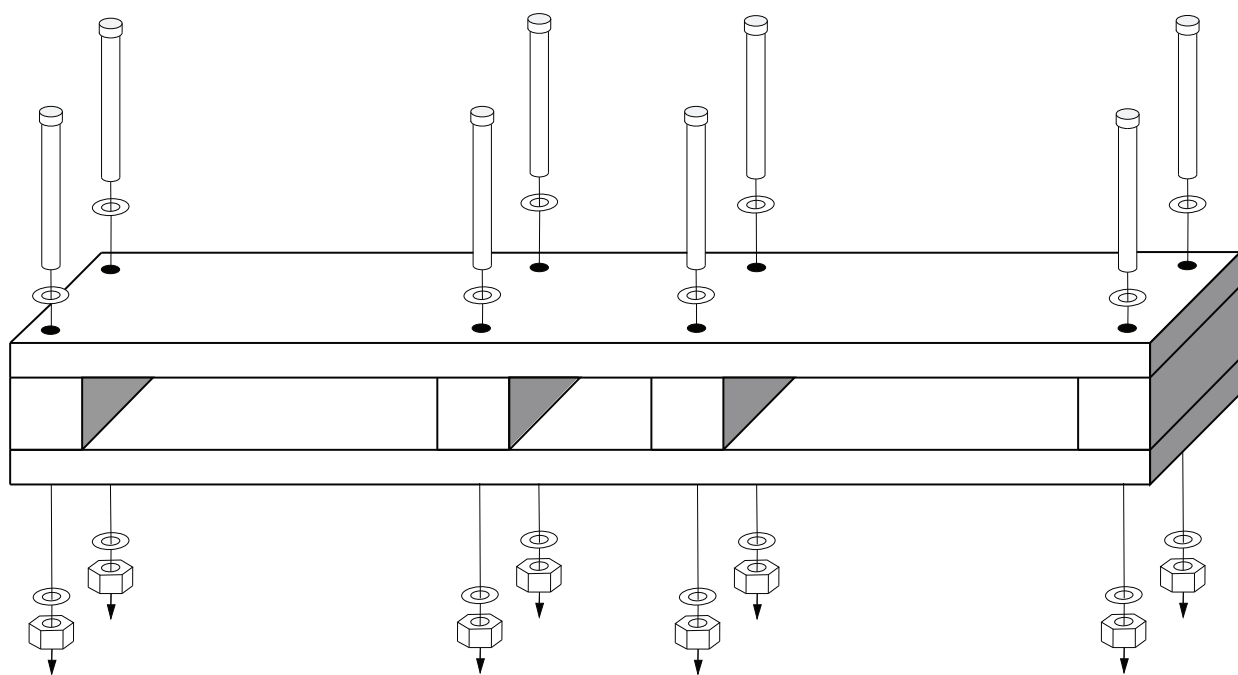


## Comment fabriquer une besace ?

Les besaces sont réalisées de la même manière que les poteaux, sauf qu'il s'agit de planches 2×12 reliées par des 4×4. La besace est robuste mais pèse moins sur les poteaux.



*Une besace en section*

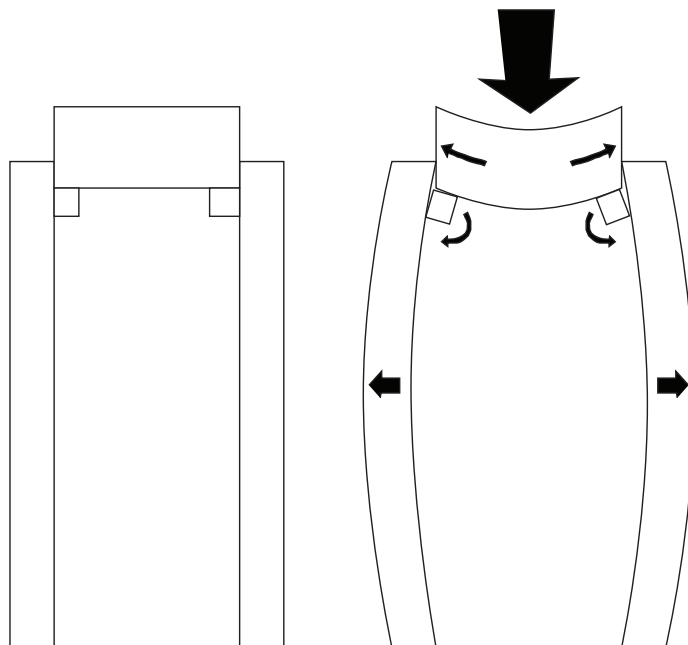


*Emplacement des boulons pour lier les éléments d'une besace*

Comme pour les poteaux, les trous sont forés dans les planches serrées par des étaux, puis on insère les boulons et on les serre.

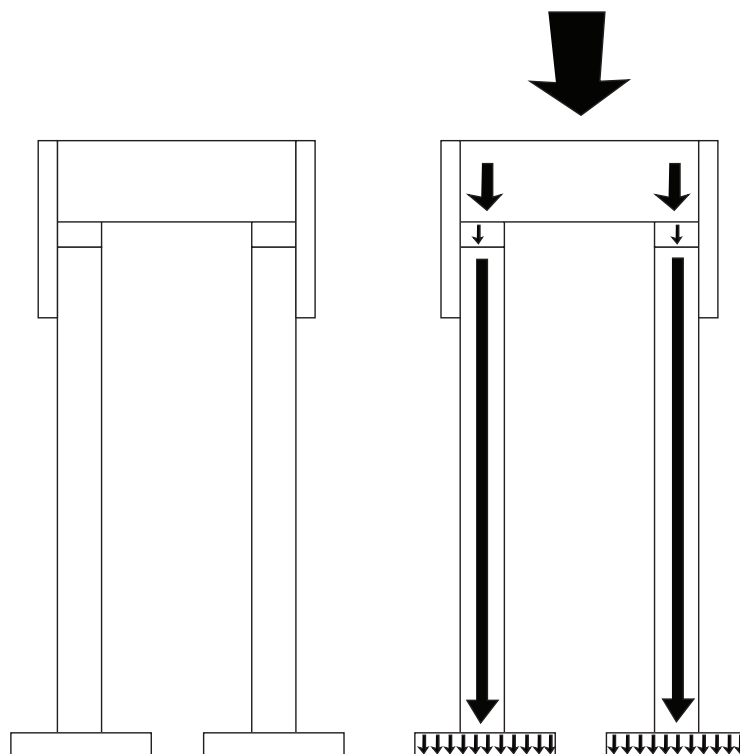
## Comment mettre les poteaux et la besace en place ?

Un bon étagage ne se déplace pas et reprend la charge du haut vers le bas sans flambage ni déformation.



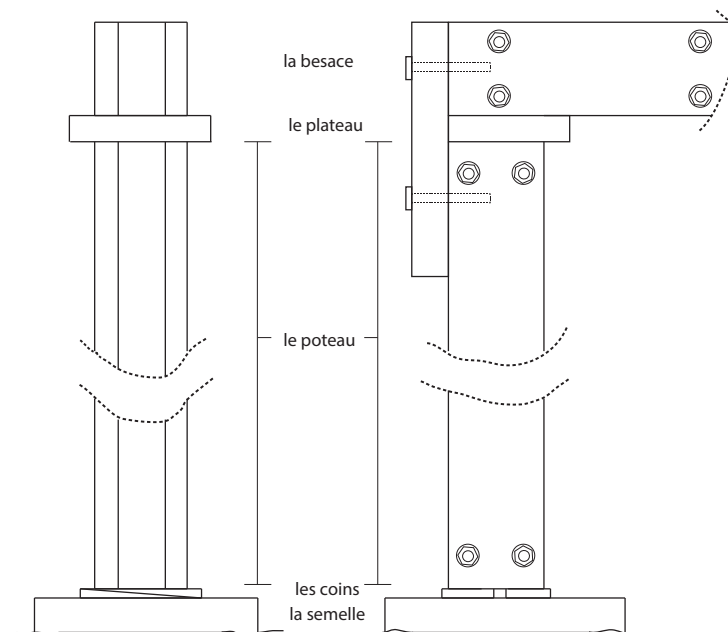
*La charge déforme un étagage incorrect*

Dans le premier étagage de la maison Dufort, plusieurs étais avaient tendance à flamber car la charge était mal transmise. Le plus souvent, il suffit d'utiliser un système plus à même de porter la charge pour résoudre le problème.



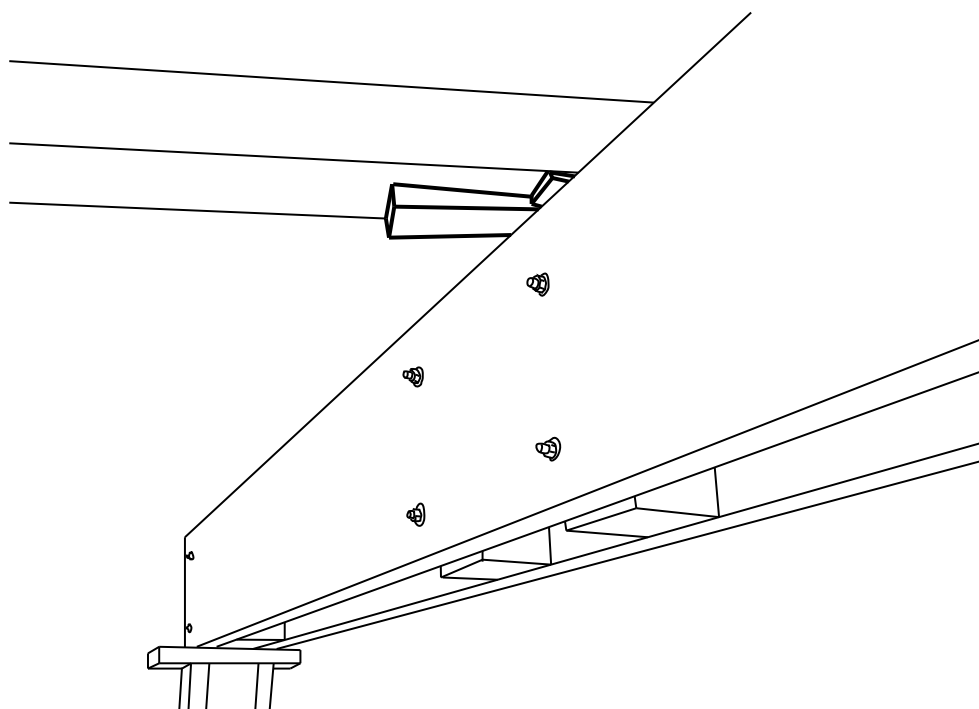
*Un étagage correct prend la charge sans déformation*

Les poteaux doivent être installés sur des semelles et la besace repose sur un plateau 2x8. Une semelle doit être au moins deux fois plus large que le poteau qu'elle supporte pour mieux diffuser la charge dans le sol. Les poteaux doivent être positionnés puis soutenus jusqu'à l'installation de la besace. On soulève la besace et on la place sur deux plateaux. Puis, on relie les deux poteaux à la besace avec des boulons, des clous ordinaires et une planche 2x4 (voir croquis ci-dessus). Les coins entre la besace et la sablière, entre les semelles et les poteaux, doivent être enfoncés au maximum.



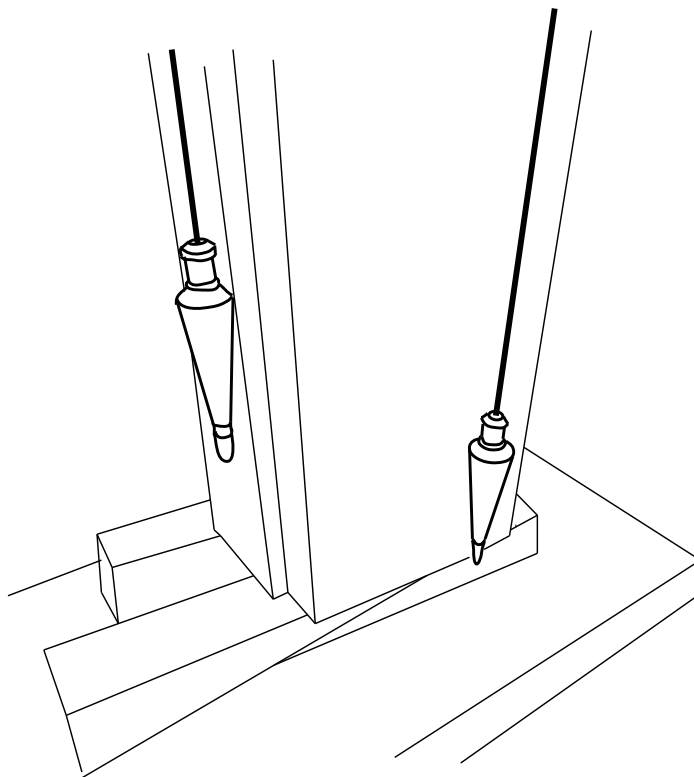
*Les éléments d'un étagage en bois*

Il ne faut pas oublier de s'assurer qu'il y a, sous la semelle, de quoi porter la charge. Pour reprendre Patrick Lacroix « il faut avoir dur sur dur d'en haut jusqu'au sol », sans quoi il y a toujours un risque d'affaissement du système.



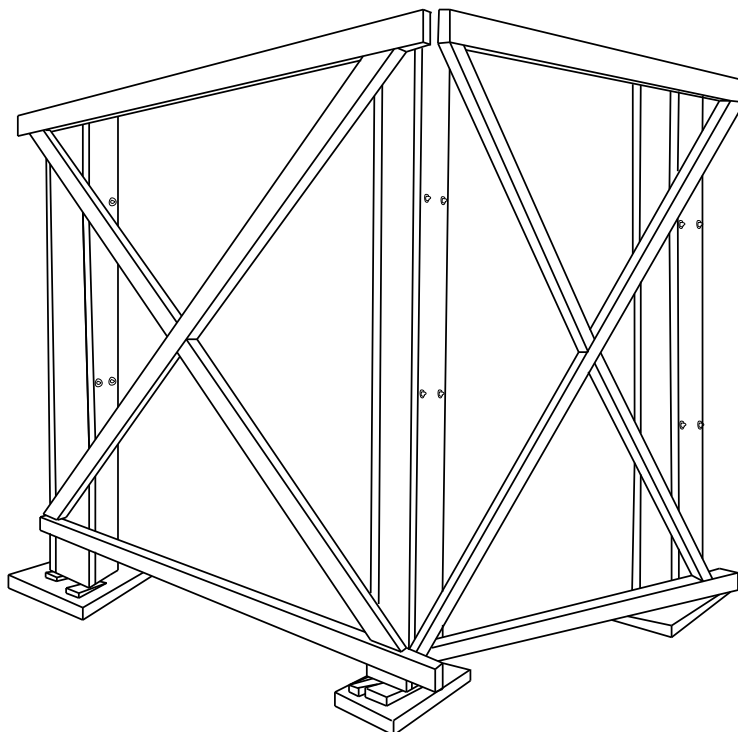
*Souvent, il faut insérer des coins pour vérifier qu'il y a « dur sur dur » dans les points de contact, et garantir le bon fonctionnement de l'étagage*

Pour contrôler que les deux poteaux sont parfaitement verticaux, on utilise deux fils à plomb. En effet, s'ils penchent, ils seront moins à même de porter la charge et peuvent même devenir dangereux. S'il faut les redresser, on ajuste avec un marteau.



*Il faut deux fils à plomb pour vérifier la verticalité d'un poteau*

Ensuite, pour renforcer l'échafaudage, on ajoute des contreventements entre les poteaux.



*Les contreventements empêchent les poteaux de bouger*



# **La fondation**

La première étape pour la restauration d'un bâtiment est le diagnostic. Ce diagnostic doit faire état des fondations afin de déterminer si elles sont suffisamment solides pour reprendre la charge du bâtiment.

Les fondations de la maison Dufort sont constituées de pierres calcaires maçonnées avec un mortier de chaux et de sable. Les pierres se sont effritées mais étaient de bonne qualité : il s'agissait principalement de pierres de rivières. La fondation était en bon état après le tremblement de terre : il semble qu'elle n'a pas subi de dégâts lors du séisme. Avec le temps elle s'était bien tassée.

Suite au diagnostic du bâtiment réalisé par IDCO et aux conclusions de Steve Kelley, ingénieur structure du bureau américain Wiss, Janney, Elstner à Chicago, il a été décidé de renforcer les fondations avec une ceinture de béton pour créer une liaison entre tous les murs et en répartir la charge. Lorsqu'il manquait des pierres dans les murs de fondation, celles-ci ont été remplacées. Les murs des fondations ont été restaurés un par un pour économiser le matériel et s'assurer de la bonne stabilité de la maison.

Une ceinture de béton armé a été réalisée sur les plans développés par S. Kelley. En fonction de la réalité sur le terrain, ces plans ont été adaptés. Le coulage du béton a été réalisé par phases.

## Préparations

Avant de débiter les travaux sur les fondations, il a fallu s'assurer que l'échafaudage était bien placé et démonter les murs du rez-de-chaussée, gravement endommagés par le séisme du 12 janvier 2010. Avec d'anciennes photos et en étudiant les murs existants, des relevés ont été réalisés afin de reconstituer l'état de la maison avant le tremblement de terre. Ces croquis sont indispensables pour guider le travail lors du démontage des murs puis lors de leur remontage.

Grâce à ces relevés, il a été établi qu'il y avait 75 assises de briques du plancher bas du rez-de-chaussée jusque sous la sablière du plancher haut. Si beaucoup de briques ont pu être récupérées lors du démontage des murs, il en manquait néanmoins énormément pour remonter ces murs entièrement en brique. L'un des défis du chantier était d'acquérir un stock de briques avec des dimensions et couleurs similaires aux briques d'origine. Sachant que les briques d'origine faisaient 4,5 cm de hauteur et que chaque joint mesurait 1 cm de hauteur, l'équipe a pu calculer la hauteur totale du mur et la hauteur maximale de la ceinture de béton sous les murs.

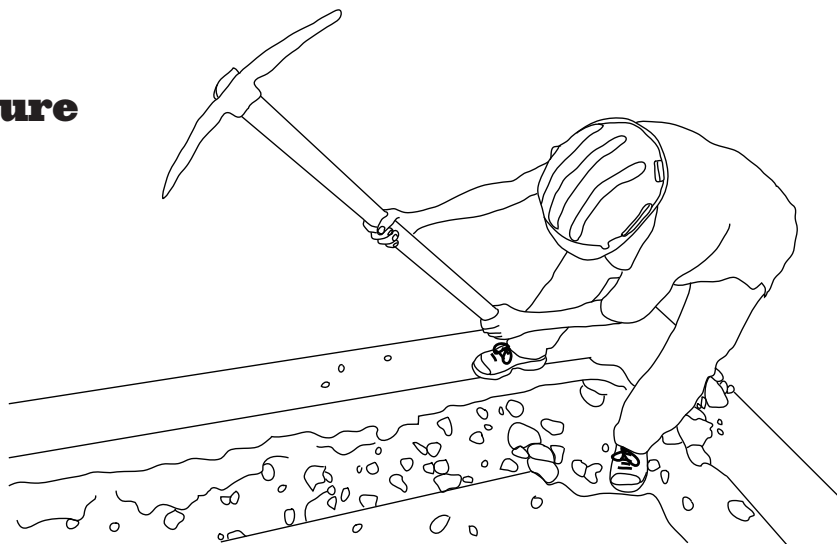
La ceinture de béton devait être parfaitement horizontale. Le matériel utilisé était simple, il s'agissait d'un niveau à eau. Pour le faire on utilise un tuyau en plastique souple et transparent d'un centimètre de diamètre et de 20 mètres de longueur qu'on remplit d'eau propre. Attention à ce que les bulles d'air ne faussent pas la précision de ce niveau artisanal ! Le niveau d'eau doit être similaire à chaque extrémité du tuyau lorsqu'on les met côte à côte.

Afin de déterminer l'horizontalité on utilise le niveau à eau. Du point fixe de départ on règle le niveau de l'eau et à l'autre bout du tuyau on attend que le niveau de l'eau se stabilise : c'est ce qui donne l'horizontalité. On trace un trait puis on fixe une ficelle qui sera le guide pour l'alignement horizontal. La verticalité est contrôlée avec une règle métallique. Afin de ne pas risquer de multiplier les erreurs de trait de crayon, il est important de toujours reprendre pour référence le même point fixe.



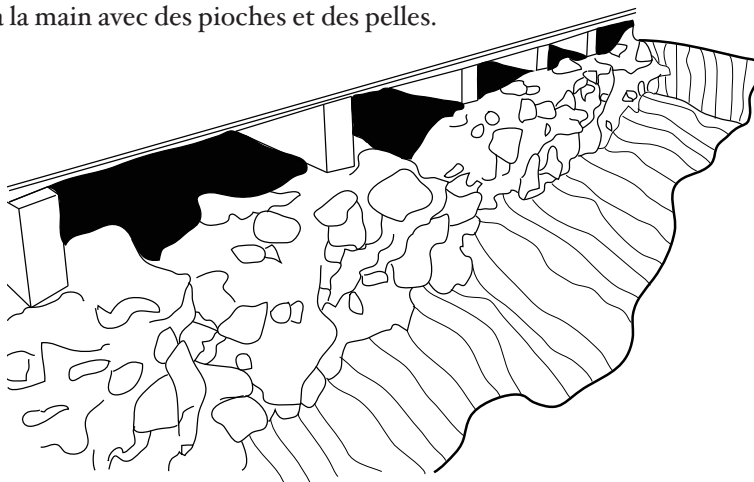
*Tracer un trait puis fixer une ficelle qui sera le guide pour l'alignement vertical et horizontal*

## L'armature



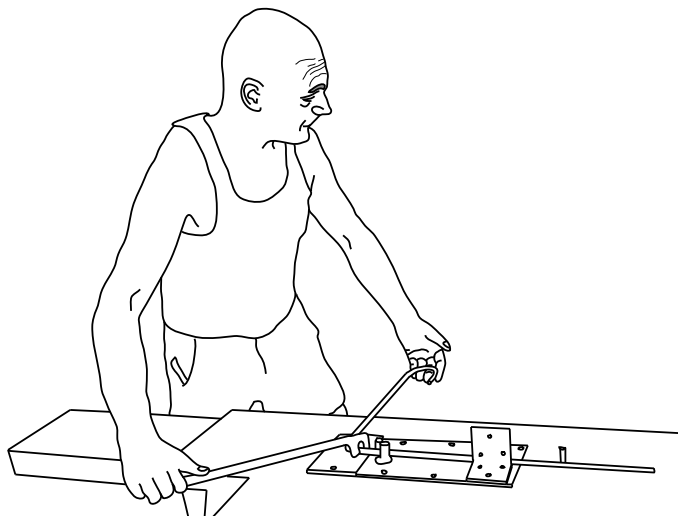
*Démontage de la fondation en mauvais état*

Après avoir démonté les murs et mis à nue la fondation, l'équipe a retiré les pierres en mauvais état dans les murs de fondation et retiré le mortier qui n'adhérait plus afin que la ceinture de béton neuve repose sur une maçonnerie saine. Ce travail a été réalisé à la main avec des pioches et des pelles.



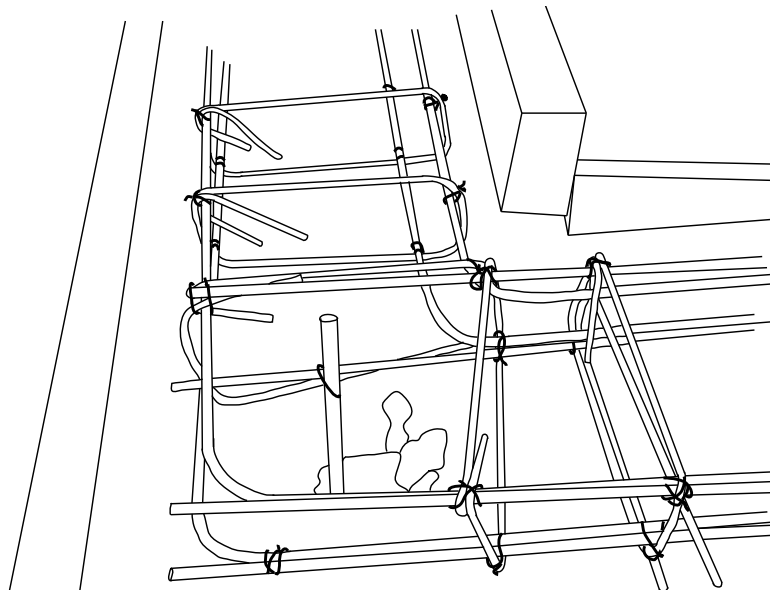
*La ceinture de béton doit reposer sur une maçonnerie saine*

Pour préparer les armatures des poutres de béton : il faut façonner les étriers, assembler les poutres et les installer dans la partie fouillée à dessin. Afin de modeler les étriers, une plaque de pliage a été installée et les barres ont été pliées avec une griffe. Pour que les mesures soient justes, les tracés ont été réalisés sur le plancher.



*La plaque de pliage a été installée et les barres ont été pliées avec une griffe.*

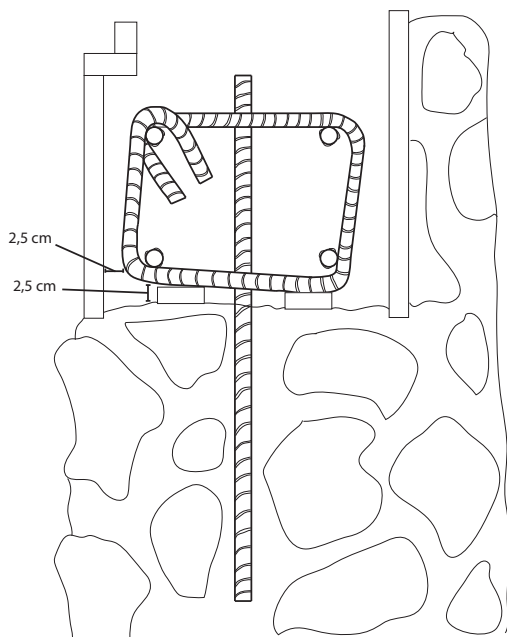
L'armature a été assemblée avec du fil à ligaturer. L'armature est composée de quatre barres d'acier crénelé d'un diamètre d'un demi-pouce, de section ronde, liaisonné avec des étriers d'acier crénelé d'un diamètre de 3/8e de pouces tous les 20 centimètres. Des barres d'acier crénelé d'un diamètre de 5/8e de pouces ont été installées verticalement tous les 90 centimètres pour liaisonner la fondation existante avec la future poutre en béton.



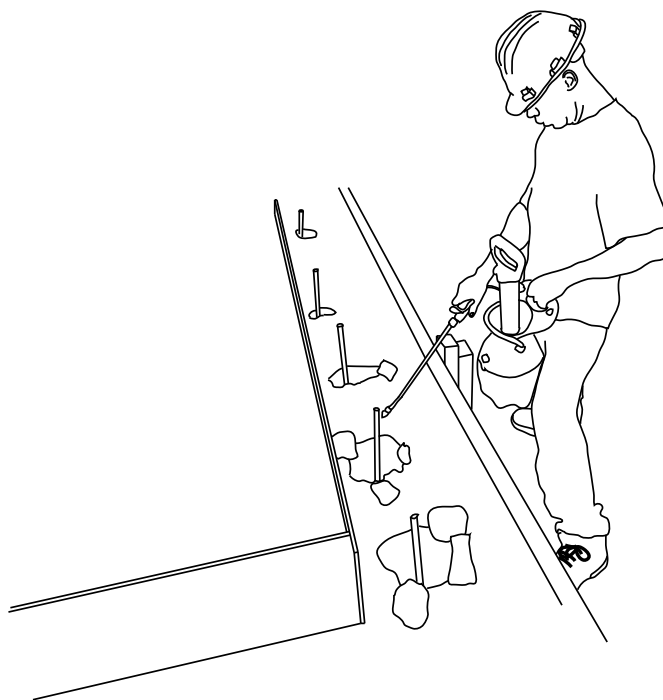
*L'armature a été assemblée avec du fil à ligature*

Un coffrage spécifique a été réalisé pour protéger les solives et favoriser une bonne ventilation entre le béton et le bois. Pour le béton armé, les armatures doivent avoir un enrobage de béton d'au moins 2,5 cm. Avant de couler le béton, il faut placer des écarteurs sous l'armature pour conserver l'écartement de la structure. Les armatures ne doivent pas être en contact avec les coffrages ou les pierres des murs de fondation.

Avant le coulage du béton, les fondations et le bois ont été traités avec du produit anti-termite. Ce traitement global a pour objectif d'empêcher le retour des termites.



*Coupe d'une armature qui aura un enrobage de béton d'au moins 2,5 cm. Il n'y a que la tige verticale et les écarteurs qui touchent l'ancienne fondation.*



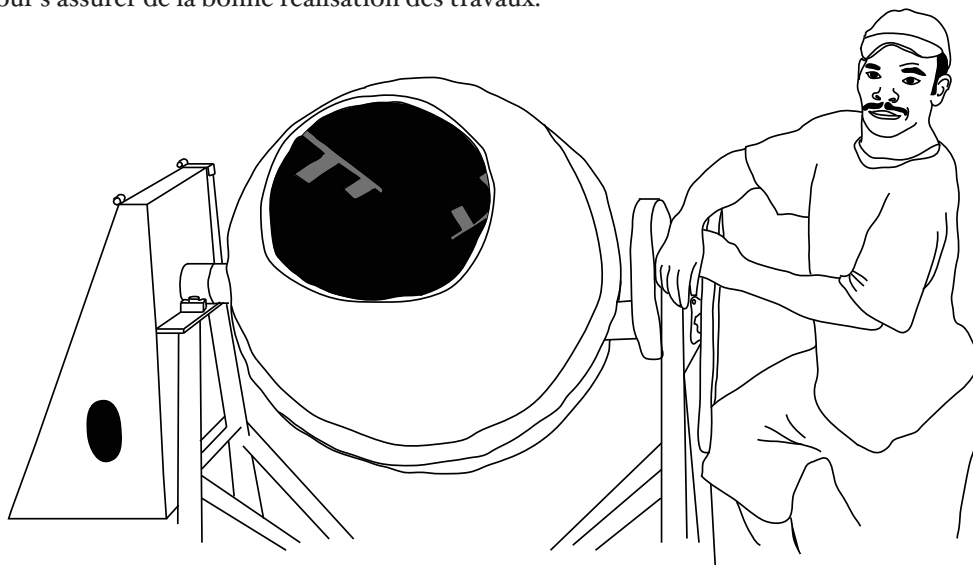
*Traitement des fondations avec du produit anti termite*



## Bétonnage

Néanmoins, la quantité de béton nécessaire pour les poutres de ceinture a nécessité l'emploi d'un malaxeur. Un technicien en charge du malaxeur a expliqué à l'équipe des stagiaires comment l'utiliser.

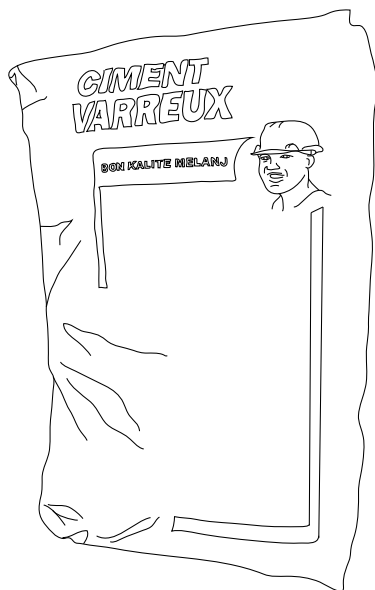
Les chantiers de restauration nécessitent des équipes polyvalentes qui maîtrisent les différents outils car les techniciens spécialisés sont rarement formés à la restauration patrimoniale. Il est donc essentiel de bien maîtriser les machines pour s'assurer de la bonne réalisation des travaux.



*Un technicien en charge du malaxeur a expliqué à l'équipe des stagiaires comment l'utiliser.*

Pour les poutres de ceinture en béton, le béton a été réalisé avec du ciment importé de République dominicaine dans les proportions suivantes : 2 parts de gravier, 1 part de sable de rivière, 1 part de ciment. Des ajustements avec une demi-part supplémentaire de sable de carrière ont été faits pour que le mélange soit plus gras.

Une fois le mélange prêt, il a été versé à la main avec des seaux dans les tranchées. L'armature doit être secouée régulièrement pendant le coulage du béton pour s'assurer que le mélange remplisse tous les vides et pour favoriser l'élimination de l'air dans le mélange.



*Sac de ciment importé*



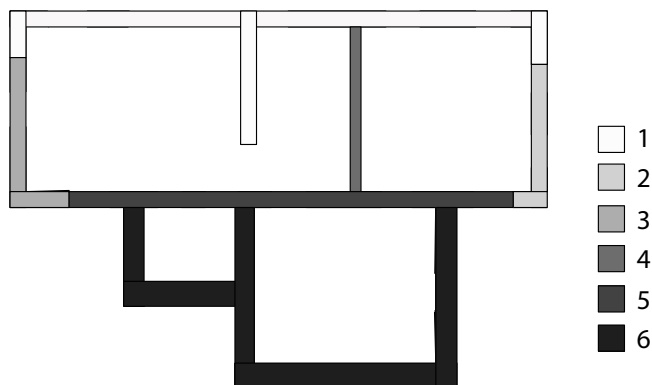
*Le béton a été coulé à la main dans les tranchées.*

Une fois le coffrage rempli jusqu'au niveau requis, il faut faire les finitions en surface. Avec des règles d'aluminium et des planches de bois, on vibre la surface. Le mélange remplit ainsi mieux les vides et la surface devient régulière. La surface ne doit pas être trop lisse afin que le mortier à venir puisse bien adhérer pour le montage de la maçonnerie.

Les poutres de ceinture en béton ont été coulées en plusieurs phases d'après le plan suivant :



*Lissage du béton*



*Les différentes phases des poutres en béton*

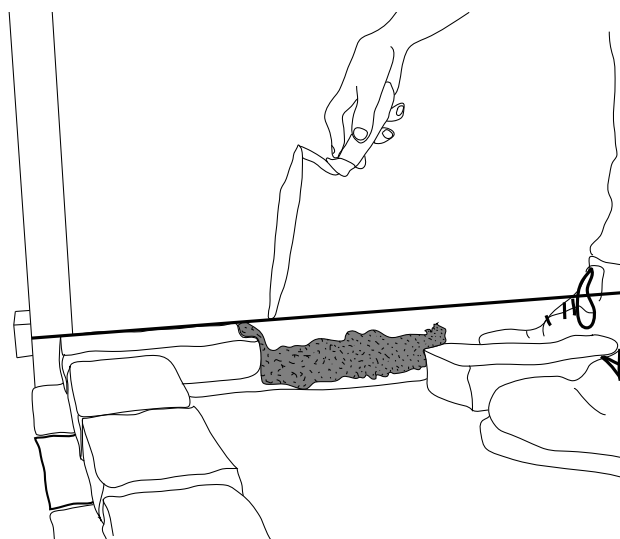
## Les premières assises de la maçonnerie

La prise de la poutre de ceinture en béton est de douze heures. Ensuite, on retire les coffrages et on peut commencer à maçonner les premières assises de briques. Les baies doivent être tracées pour l'implantation des portes. On dessine également le calepinage pour la première assise du mur. Des briques à sec sont positionnées sur la poutre de béton, y compris dans les baies des portes, pour définir l'appareillage correct (la première assise d'un appareillage croisé) pour l'ensemble des murs, y compris au-dessus des arcades.

Il faut ensuite positionner les ficelles et commencer à maçonner les briques.

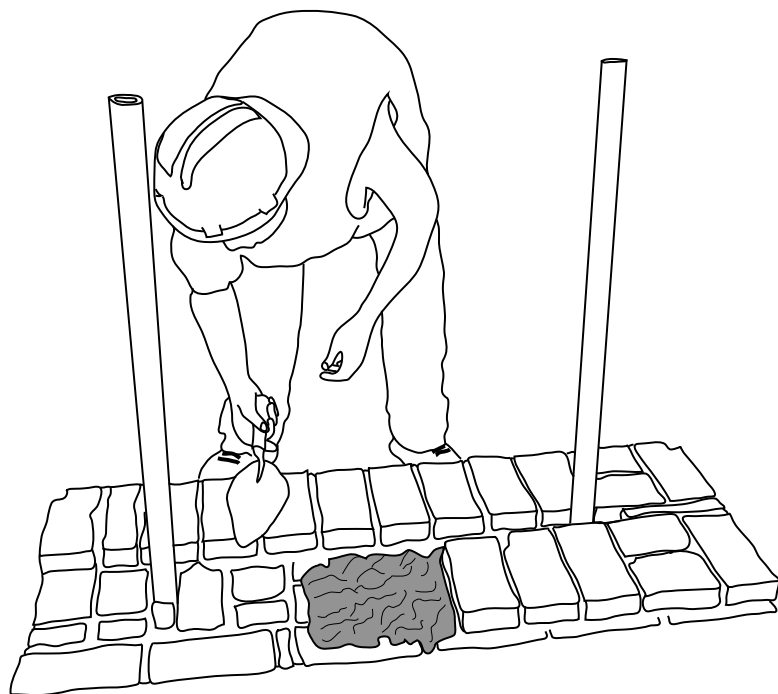


*Travail avec les briques à sec sur la poutre de béton pour bien définir l'appareillage*

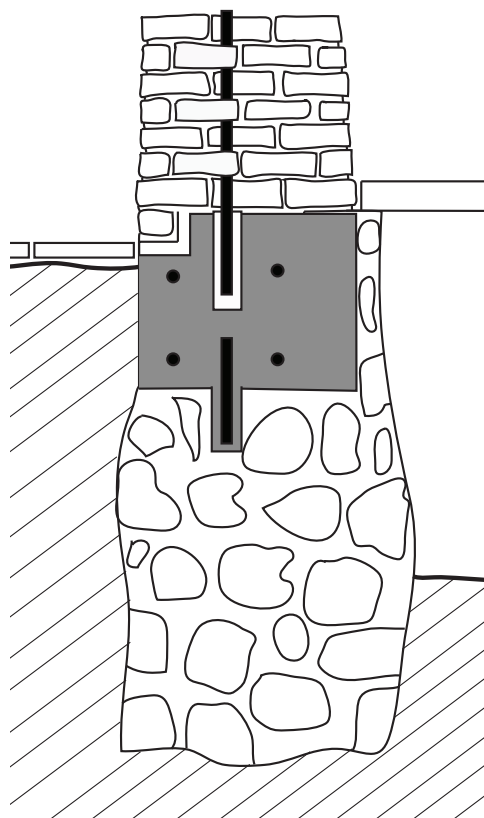


*En suivant les ficelles, on commence la maçonnerie.*

Pour pouvoir installer les tirants verticaux qui participent à la para-sismicité du bâtiment, des fourreaux de plastique ont été installés au niveau des futurs piliers et dans les angles voire dans les murs en fonction de leur longueur. Après avoir maçonné plusieurs assises, les fourreaux ont pu être retirés, les tirants installés et un mélange de mortier de chaux a été coulé autour.



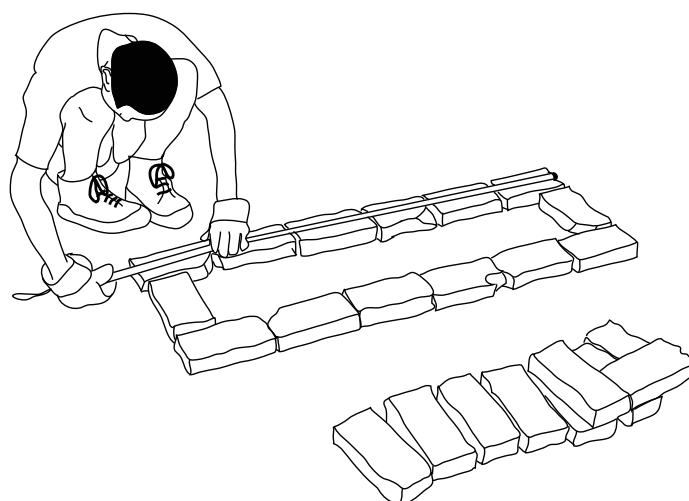
*Fourreaux verticaux pour réserver l'espace nécessaire à l'installation des tirants*



*La coupe des fondations montre la connexion entre l'ancienne fondation en pierre, la poutre en béton et le mur en maçonnerie.*

Après le coulage de la poutre en béton et le montage des premières assises de brique, il y a avait une fondation solide pour la continuation de la maçonnerie, et l'équipe a pu commencer à remonter les murs.





# **Maçonnerie basique**

Après le tremblement de terre, il était évident que la maçonnerie du rez-de-chaussée de la maison Dufort ne pouvait être conservée en l'état. En effet, plusieurs murs étaient fortement endommagés. La faiblesse de la structure était liée au manque de cohésion entre les piliers en maçonnerie de brique et les panneaux en remplissage mixte de pierres. Des discussions eurent lieu, avec l'aide d'ingénieurs de la firme WJE, sur les options possibles pour une architecture parasismique. Ces débats intégraient aussi des questions essentielles pour cette restauration comme : faut-il rendre visible ou non une nouvelle structure ? Faut-il doubler une structure en maçonnerie d'un système parasismique ? Il a finalement été décidé de démonter les murs d'origine puis de les remonter avec une maçonnerie pleine en briques tout en insérant des fondations plus robustes et en renforçant la cohérence de l'ensemble et sa flexibilité par un système intégré de tirants verticaux et horizontaux en acier inoxydable.

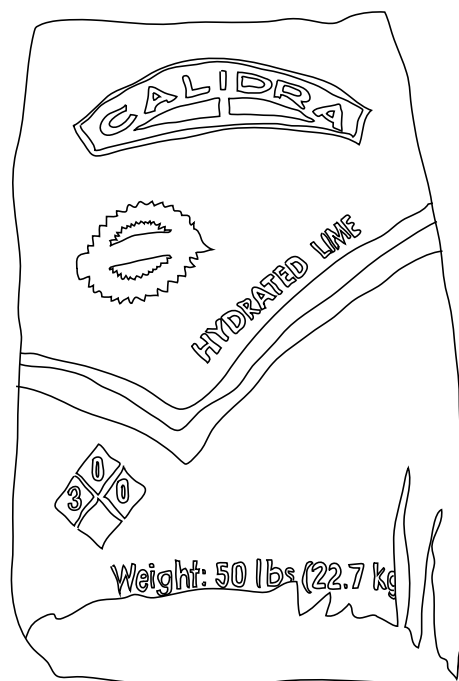
Pour le lancement du chantier-école, FOKAL a sélectionné des stagiaires ayant une formation de base en construction. Ils étaient peu expérimentés en maçonnerie. Le chantier-école avait vocation à combler ces lacunes. Le chantier a été lancé après une série de formations théoriques sur la pratique de la préservation du patrimoine en Haïti, la chaux et ses propriétés, la protection des constructions contre les termites. Le chantier-école vise la formation des stagiaires par la pratique. Cette restauration impliquait donc une formation spécifique en maçonnerie. Le formateur principal était Patrick Lacroix, maître maçon belge et formateur de l'Institut du patrimoine wallon. Il a transmis les compétences en maçonnerie nécessaires à la bonne réalisation du chantier de restauration de la maison Dufort : préparer un mortier de chaux, monter un mur en appareillage croisé, réaliser une arcade.

## Le mortier

Pour la restauration de la maison Dufort, on a utilisé un mortier de chaux avec du sable de rivière et du sable calcaire (le sable de carrière en Haïti est un sable calcaire). En restauration, on utilise de la chaux pour le mortier plutôt que du ciment. Le ciment crée des points durs dans les maçonneries, à l'inverse, le mortier de chaux est souple, il est perméable à la vapeur d'eau, drainant, et il assure une excellente cohésion avec les mortiers historiques.

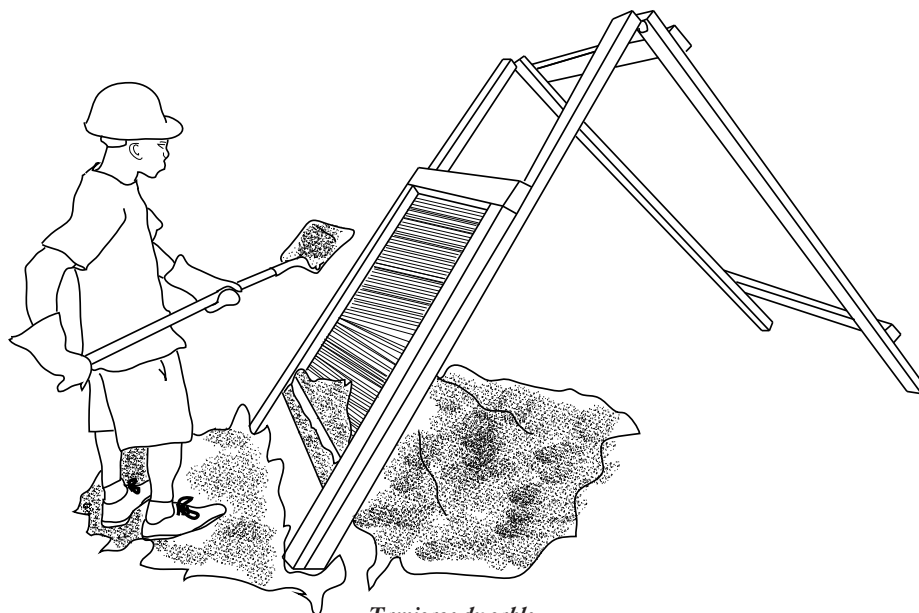
Le dosage du mortier de chaux doit être adapté aux briques utilisées et au mortier d'origine du bâtiment. Si le mortier sèche trop vite, il est difficile à travailler et des fissures risquent d'apparaître. À l'inverse, si le mortier sèche trop lentement, il est difficile de maçonner les murs et les arcades sans étayage. Le mélange varie en fonction du taux d'humidité, de la chaleur et des caractéristiques physiques et chimiques des différents éléments qui composent le mortier. Plusieurs mélanges ont été testés dans le chantier-école de la maison Dufort pour trouver le bon dosage. Le dosage final était composé comme suit : deux parts de sable de rivière, une part de sable calcaire, une part de chaux. Ces parts sont mesurées en volume.

La qualité des ingrédients détermine la qualité du mortier. La chaux haïtienne est de qualité variable. De plus, elle est le plus souvent artisanale et disponible en faible quantité. Il a été décidé d'utiliser de la chaux importée « Grupo Calidra » du Honduras. Le sable de rivière est produit à Léogâne et le sable de carrière à proximité de Pétion-Ville. Les sables de rivière et de carrière doivent être lavés avant d'être employés sans quoi ils contiennent trop de sels, d'argile et de limon. La teneur en ces composants doit être inférieure à 5%. La teneur en matières organiques ne doit pas excéder 0.5%. Ces composants et matières organiques risquent de nuire à la prise du mortier et à la cohésion de l'ensemble mortier et briques.



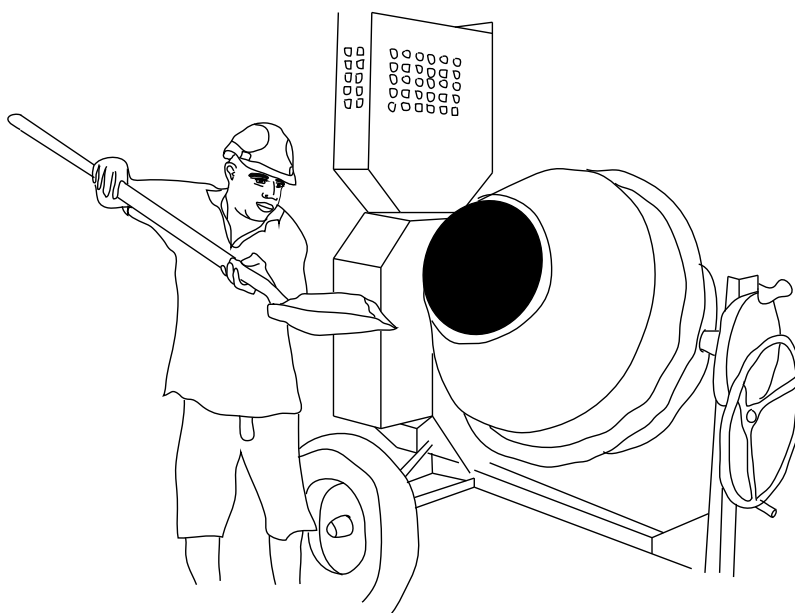
*La chaux importée*

Il est essentiel de faire attention à la proportion de sable dans le mortier. S'il y a trop de sable de rivière, la cohésion du mortier ne sera pas bonne car sable et chaux ont des caractéristiques chimiques trop distinctes. Par exemple, le sable de carrière est calcaire et proche, chimiquement, de la chaux. Si la proportion de sable de carrière est trop importante dans le mortier, la prise sera trop rapide et des microfissures (faïençages) risquent d'apparaître. Il faut aussi tenir compte de la granulométrie du sable. Si les grains sont trop gros, l'adhérence du mur sera faible car les briques seront retenues entre elles par les gros grains, sans assez de liant. Mais si le sable est trop fin, le mortier sera moins compact, moins résistant et plus coulant. Dans le chantier de la maison Dufort, le sable a été tamisé pour mieux contrôler la granulométrie. Les mailles du tamis sont de 7 mm de diamètre.



*Tamisage du sable*

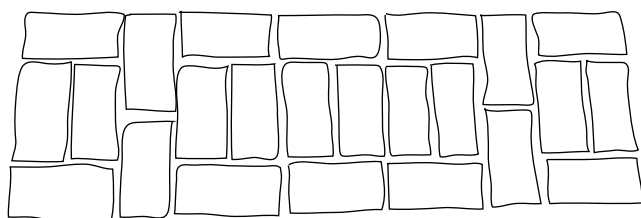
Pour fabriquer le mortier, il faut mélanger tous les ingrédients dans les proportions mentionnées ci-dessus dans le malaxeur. Ensuite on ajoute de l'eau à ce mélange. L'eau contenue dans le mortier ne doit pas être absorbée par la brique, elle doit s'évaporer naturellement. Si la prise est trop rapide, il y a un risque de dessiccation du mortier. Il est donc indispensable de faire tremper les briques dans de l'eau propre avant de les poser. Le trempage dure jusqu'au « refus », c'est-à-dire quand il n'y a plus de bulles d'air qui s'évacuent.



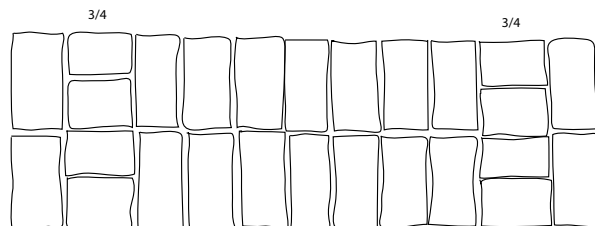
*Préparation du mortier*

## Montage d'un mur

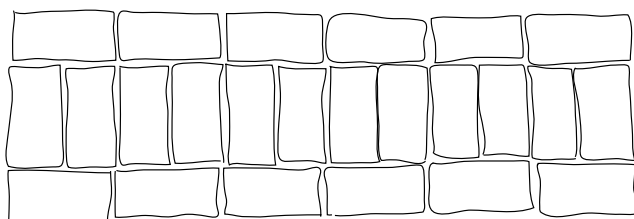
D'abord il faut commencer avec la définition de deux termes. La panneresse est la brique prise dans le sens de la longueur et la boutisse est la brique prise dans le sens de la largeur. Les murs de la maison Dufort sont le plus souvent des murs de « deux briques », c'est-à-dire que l'épaisseur du mur est égale à deux briques mises bout à bout dans le sens de la longueur (deux panneresses). A la maison Dufort, les briques ont une longueur de 22 cm, une largeur de 11 cm et une hauteur de 4,5 cm. Les murs ont une structure en brique et des panneaux de remplissage en pierres mixtes. Il a été décidé de remonter les murs de la maison intégralement en brique sur le modèle de l'appareillage croisé. Le positionnement des briques, « croisées », permet de renforcer la résistance du mur. Ci-dessous, un dessin des cinq premières assises de l'appareillage croisé. La cinquième assise est identique à la première assise et le motif se répète dans les assises suivantes.



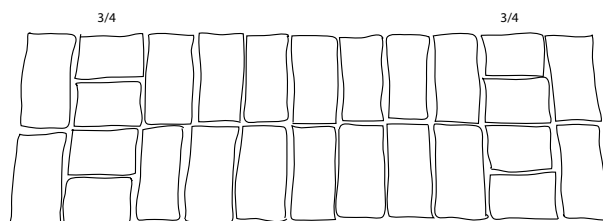
*Première assise*



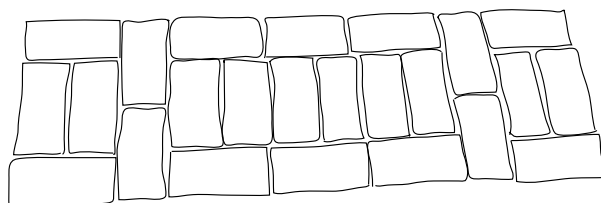
*Deuxième assise*



*Troisième assise*



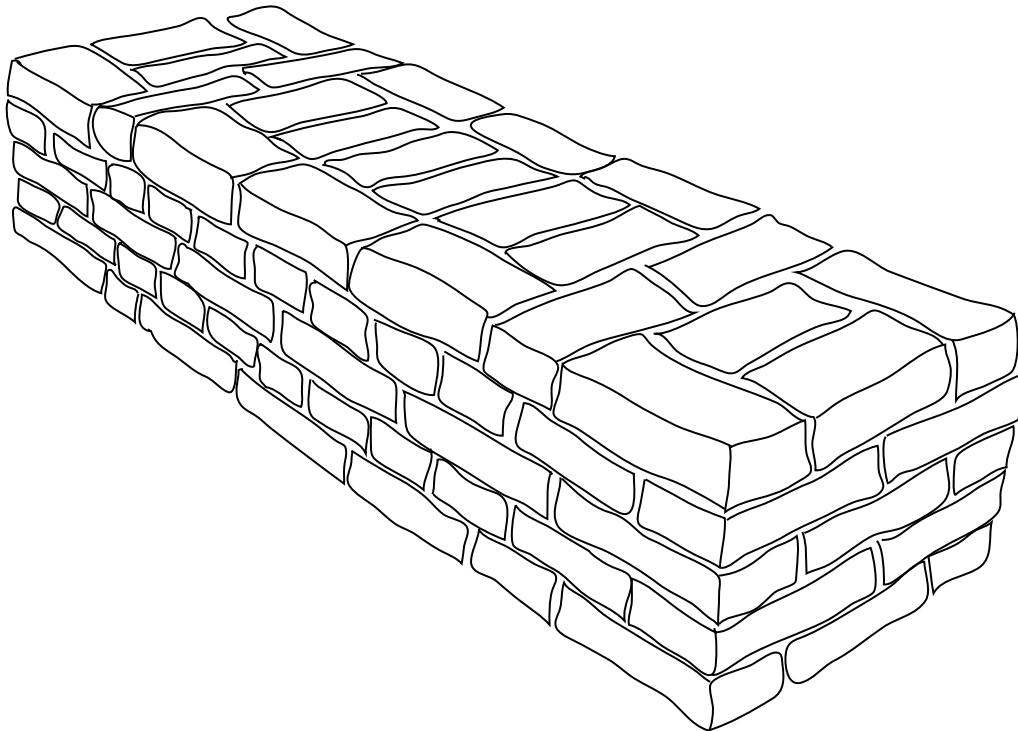
*Quatrième assise*



*Cinquième assise*

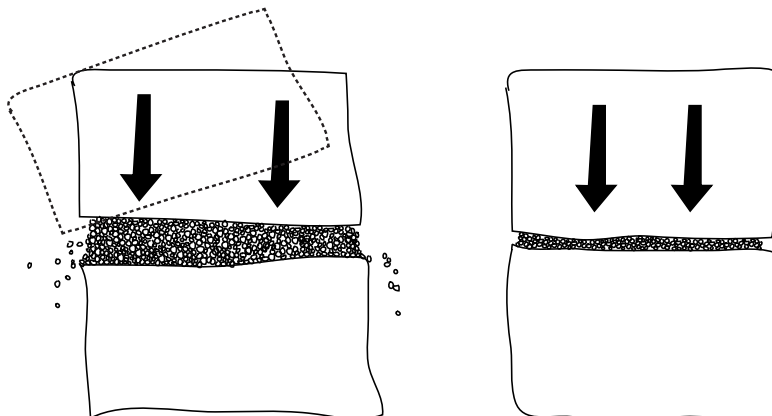
Les joints sont donc semblables, verticalement, toutes les cinq assises. Le mur est visiblement mieux liaisonné que dans un modèle d'appareillage de trois assises.





*Cinq assises d'un mur de « deux briques » avec un appareillage croisé*

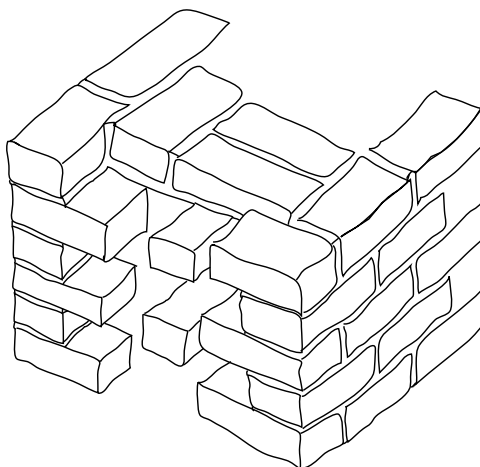
Un mur bien réalisé a des joints très fins, de 7 à 8 mm. Le mortier est résistant, surtout en compression. Le mortier des joints trop épais a tendance à s'effriter sous pression.



*Un joint trop épais a tendance à s'effriter sous pression.*

Le joint de droite est correct, tandis que le joint de gauche est trop épais. Le vieillissement du mortier ou une secousse sismique peut entraîner un effritement du mortier qui provoque un mouvement de la brique supérieure.

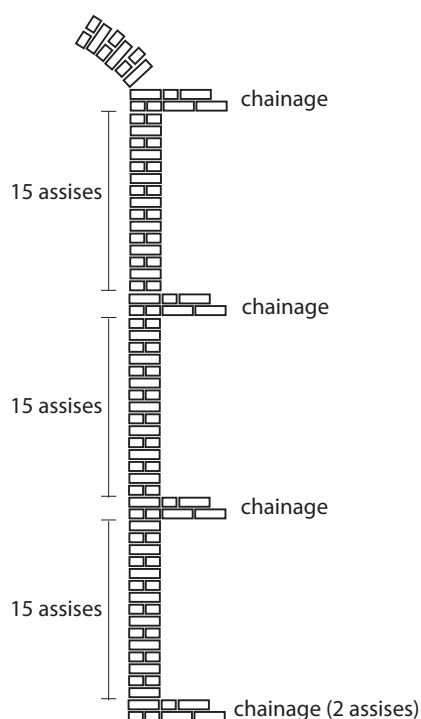
Lorsqu'un mur doit être liaisonné à un autre et qu'il ne peut être élevé en même temps il est nécessaire de laisser des amorces afin de recréer un maillage correct et une bonne liaison des deux murs.



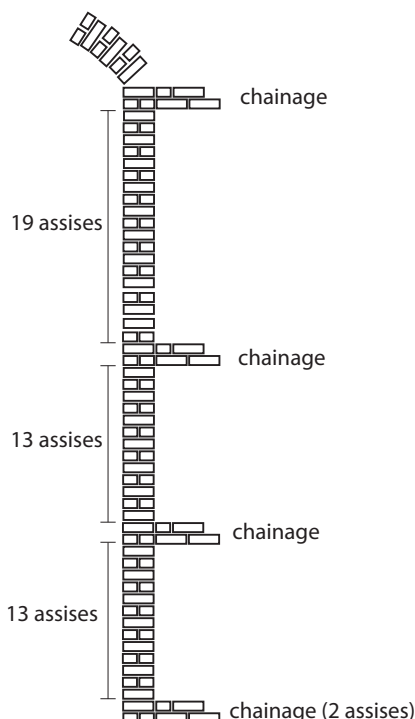
*Un mur en attente pour être liaisonné à un autre*

Dans les chantiers de restauration, il est essentiel de documenter et d'étudier le bâtiment d'origine avant de faire des travaux. S'il est nécessaire de remplacer des éléments, il est préconisé d'utiliser des matériaux le plus proche possible des matériaux d'origine. Pour le cas de la maçonnerie, il faut photographier les murs, mais aussi réaliser des relevés qui permettent de savoir, brique par brique, comment était construit le mur d'origine. Une fois ce travail réalisé, le démontage du mur peut commencer. Démontez un mur n'est pas le démolir. Lorsqu'on démonte un mur de bâtiment patrimonial, on prend soin de démanteler les éléments architecturaux sans les détruire. Il faut ensuite trier et stocker ces éléments pour les réutiliser dans la restauration.

Lors du remontage de la façade est (arrière) de la maison Dufort, il aurait fallu mieux prendre en compte les relevés de la façade avant démontage. En effet, le rythme des chaînages était régulier, toutes les quinze assises. Dans le remontage du mur, le rythme est différent et moins élégant. Cette erreur aurait pu facilement être évitée en se référant aux relevés.



*Relevé de la façade est d'origine  
TOTAL: 53 assises entre le seuil et l'arcade*

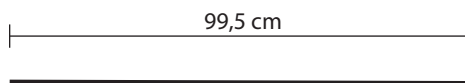


*Relevé de la façade est après la reconstruction  
TOTAL: 53 assises entre le seuil et l'arcade*

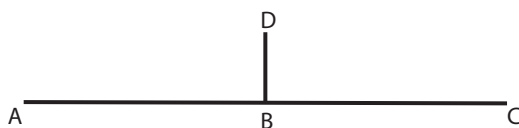
## Fabrication d'un cintre

Avant de monter une arcade, il faut fabriquer le cintre qui soutiendra la maçonnerie pendant qu'elle sèche et durcit. Pour fabriquer un cintre, il faut d'abord tracer sur une planche ou une grande feuille de papier un guide qui permettra ensuite de mesurer les dimensions.

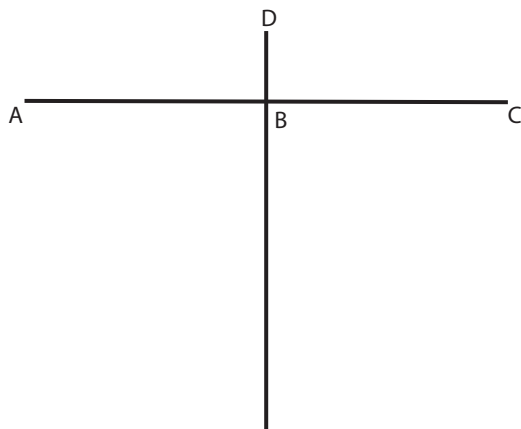
On trace pour commencer une ligne qui représente la travée de l'arcade. À la maison Dufort, cette travée mesure un mètre. Pour rendre le montage et le démontage plus faciles, il est conseillé de déduire 0,5 cm (99,5 cm et non 100 cm).



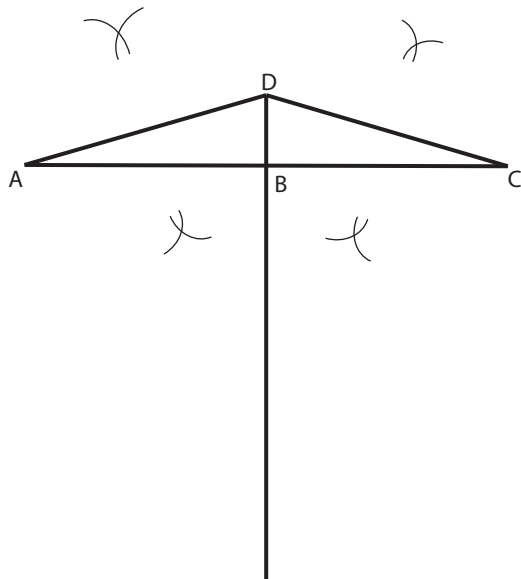
Ensuite, on détermine le point médian de la ligne et on trace une autre ligne perpendiculaire qui représente la hauteur de l'arcade désirée, 20 cm dans le cas de la maison Dufort. Dans le croquis ci-dessous, AC est la travée, BD la hauteur et  $AB=BC$ .



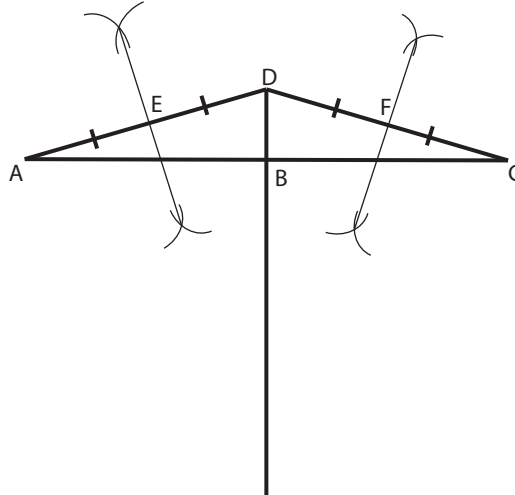
On prolonge BD pour trouver le rayon de l'arc qui déterminera la forme de l'arcade.



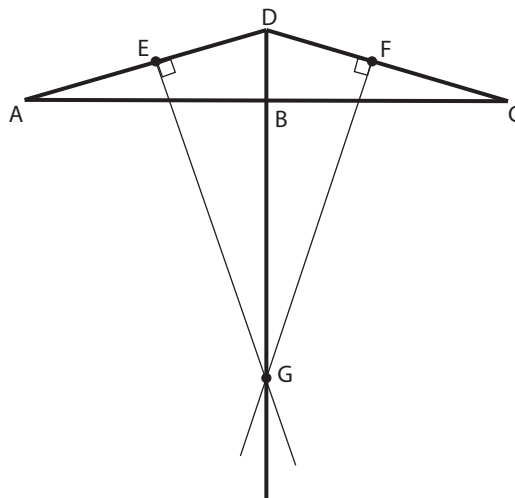
Ensuite, on trace les lignes AD et CD, puis leurs points médians. Pour trouver les points médians, il est préférable d'utiliser un compas.



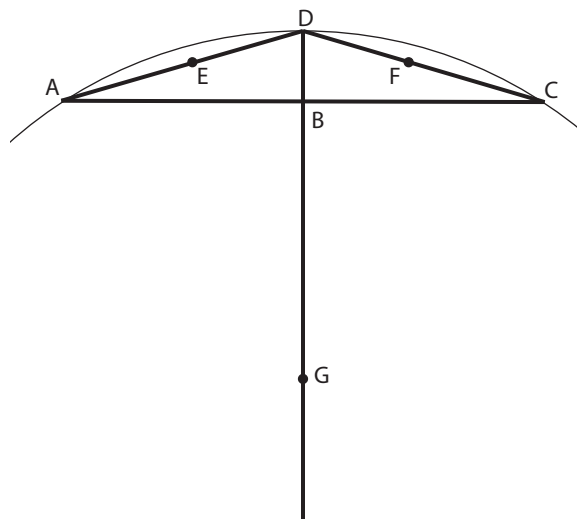
Pour trouver le point médian de AD, on trace un trait au compas en partant du point A avec un diamètre supérieur à la moitié de AD, puis on trace un trait au compas en partant du point D. On trace une droite reliant ces deux points. L'intersection de cette droite et de AD marque la médiane E, l'intersection avec CD marque la médiane F.



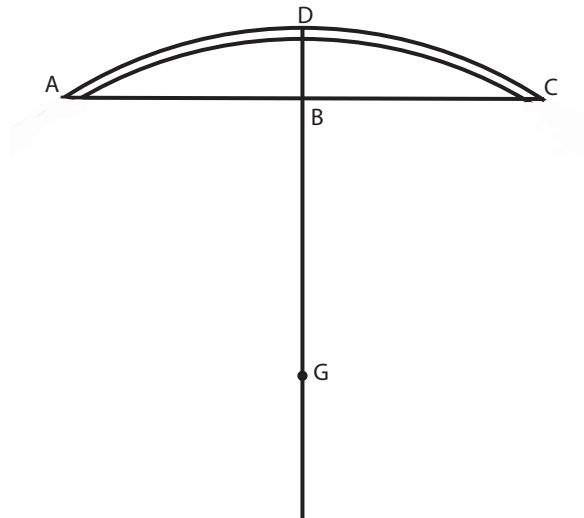
Ensuite, on trace deux lignes perpendiculaires à AD et CD depuis E et F pour trouver G dans le prolongement de DB. G est le centre qui définit le rayon de l'arcade.



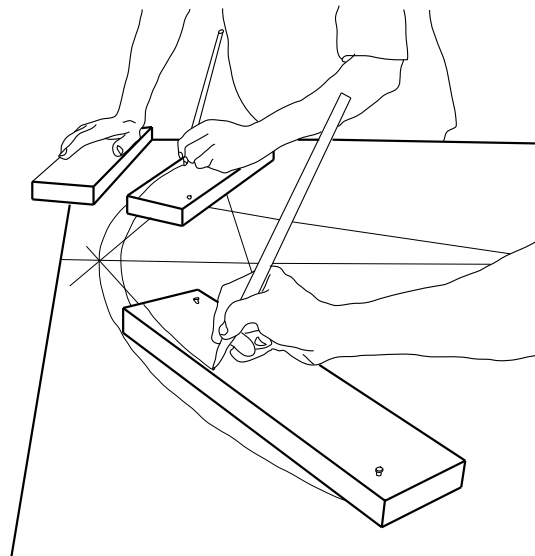
On trace l'arc ADC, celui-ci représente le niveau inférieur des briques de l'arcade.



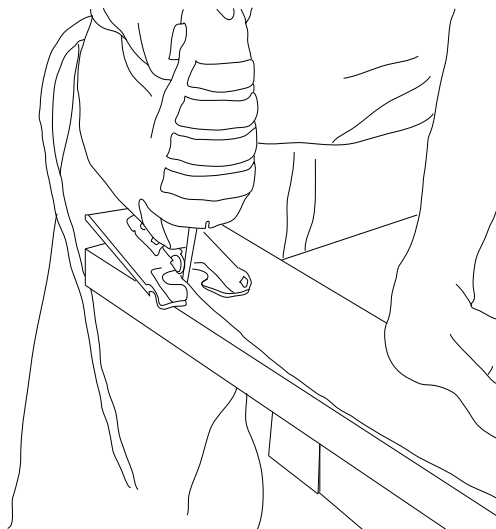
Puis, on trace un autre arc avec le même rayon environ 2cm au dessous de l'arc ADC qui servira comme guide pour le bois du cintre. Ensuite pour créer le support du lattage, on trace l'arc ADC en déduisant l'épaisseur du lattage (dans ce cas 2 cm) à partir du même point G.



On cloue le bois sur le tracé et on l'utilise comme guide pour tracer l'arc ADC.



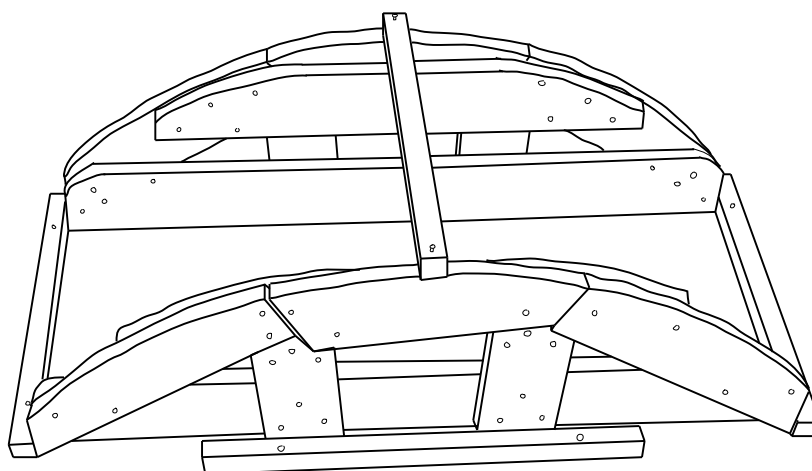
Ensuite, on coupe le bois suivant le tracé.



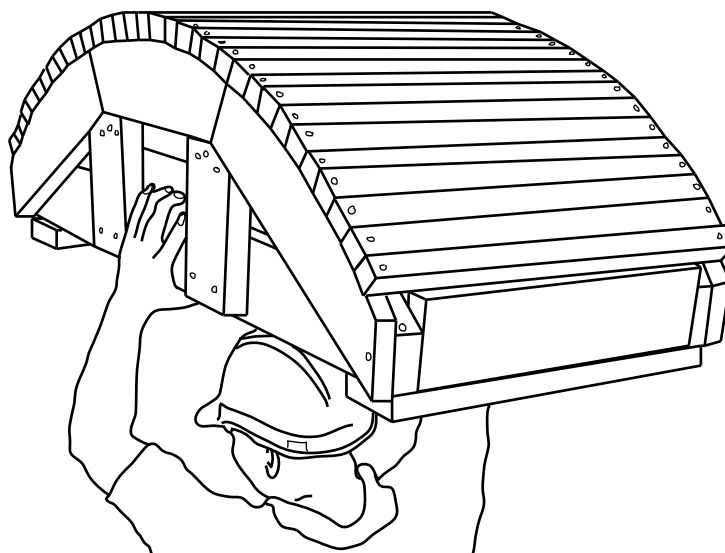
Et, au fur et à mesure, on fabrique un premier côté du cintre.



On fabrique ensuite le deuxième côté, puis on assemble les deux parties avec des lattes de 2cmx2cm qui font la largeur de l'arcade. La largeur du mur détermine la longueur des lattes. Dans le chantier de la maison Dufort, ces lattes sont de 50 cm.

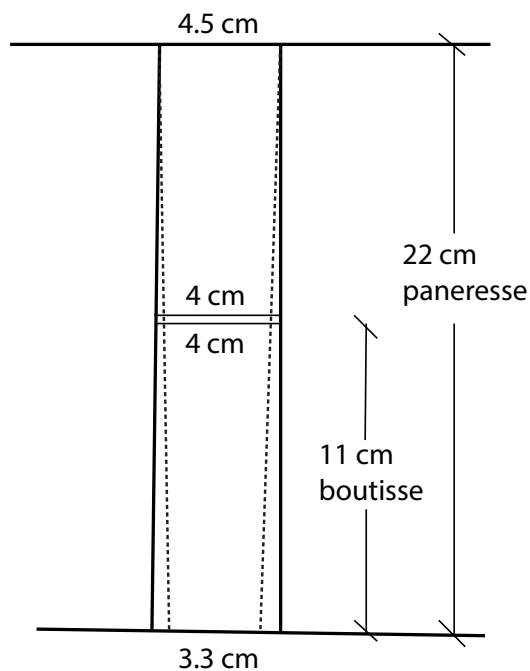


Le cintre est prêt pour soutenir l'arcade pendant le montage.



## Fabrication d'une arcade

Pour que l'arcade soit élégante, il vaut mieux utiliser des briques biseautées plutôt que des briques carrées. Ainsi les joints auront une largeur constante sur toute la hauteur de la brique.

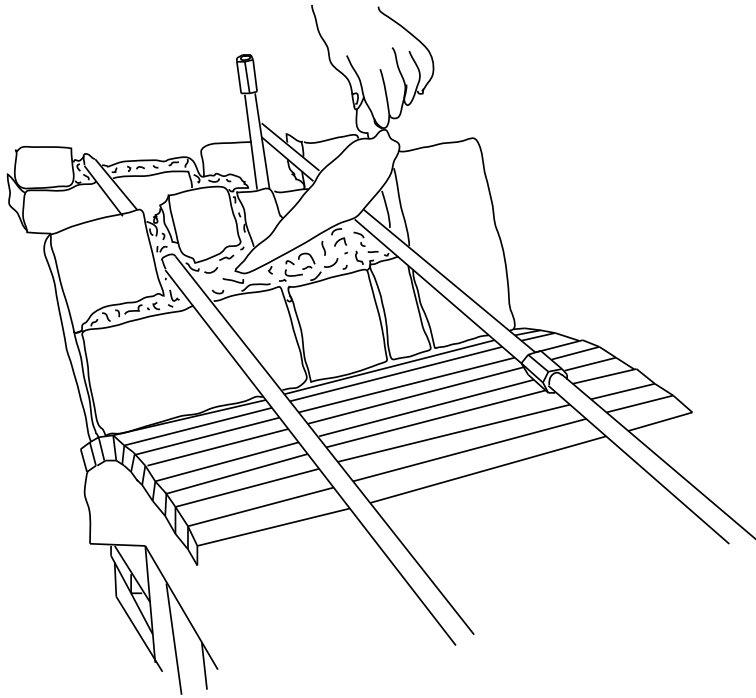


*Le croquis montre comment les briques ont été découpées pour les arcades de la maison Dufort.*

Dans le chantier de la maison Dufort, les briques ont été découpées à la main. Chaque arcade nécessite une centaine de briques. C'est un travail long et difficile qui a porté ses fruits car les arcades sont élégantes.

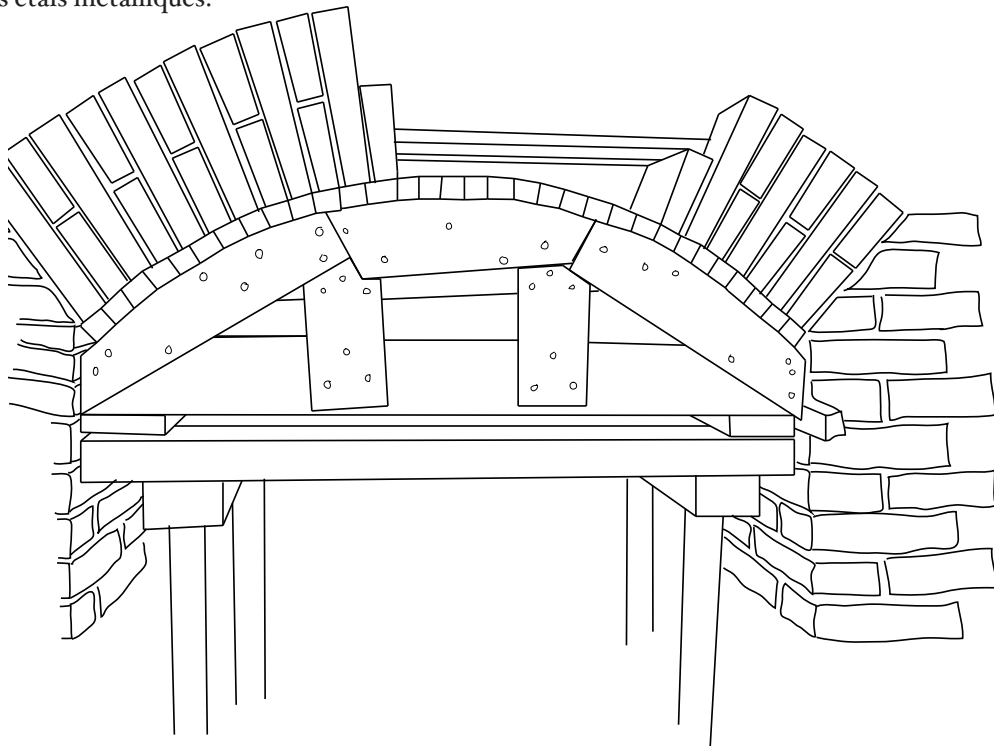


*Découpage des briques à la main*



*Mise en place des assises d'une arcade*

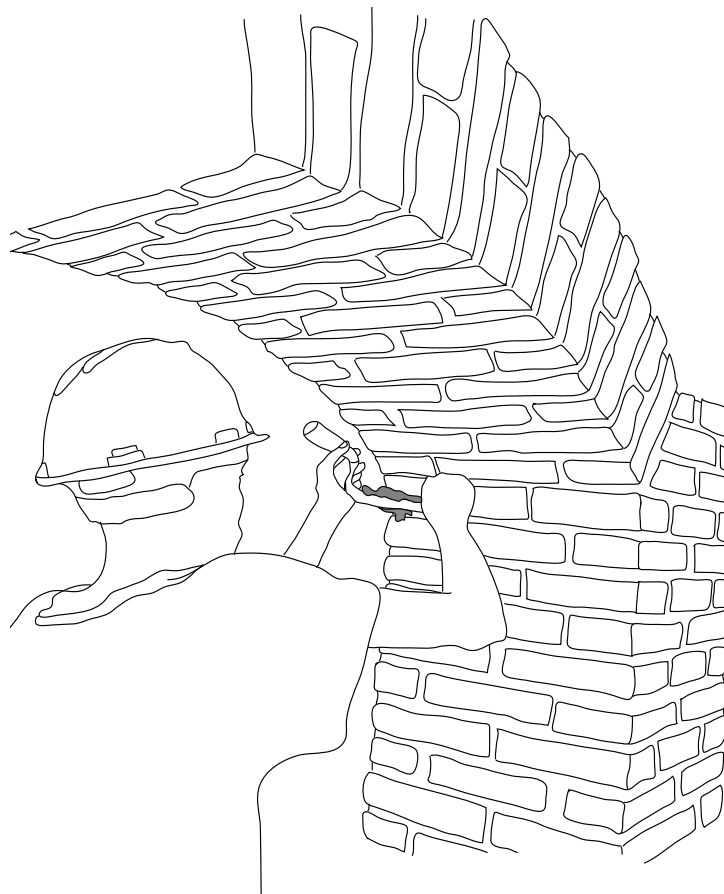
Après la réalisation du cintre et la découpe des briques, il faut maçonner l'arcade assise par assise, en insérant les tirants métalliques qui font partie du système parasismique de la maison. La maçonnerie repose sur le cintre qui repose sur des étais métalliques.



*La maçonnerie repose sur le cintre qui repose sur des étais métalliques.*

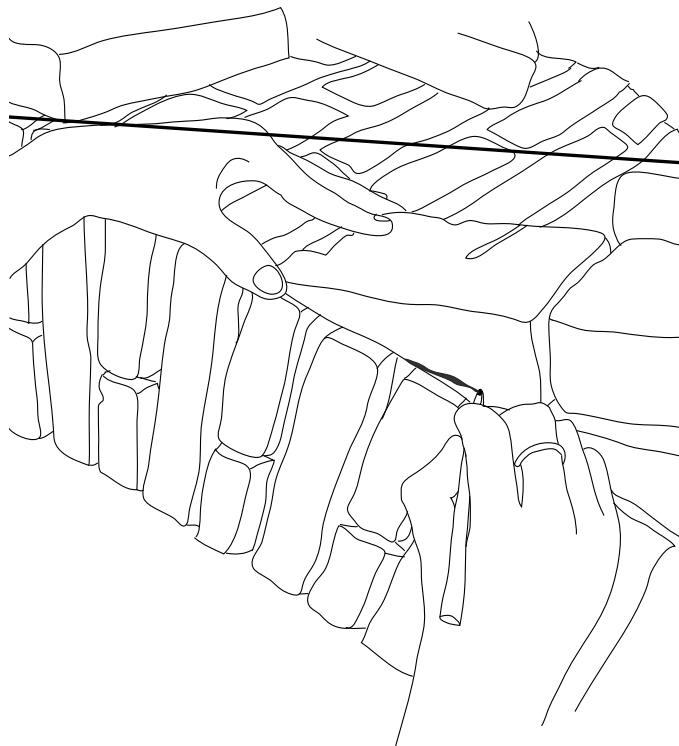
Une fois la maçonnerie réalisée, et bien resserrée, on peut descendre délicatement le cintre et les briques se mettent directement en compression. On peut ensuite retirer les étais et le cintre, et l'arcade restera en place. Les joints peuvent ainsi être nettoyés.





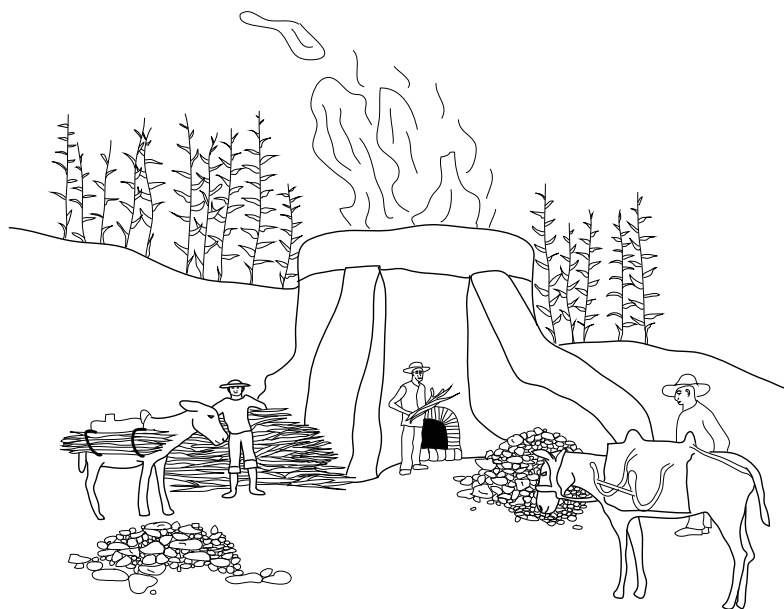
*Nettoyage des joints avant la prise du mortier*

Ensuite, on peut continuer à maçonner en haut de l'arcade, assise par assise.



*Traçage et découpage des briques pour que leur forme s'intègre à l'arcade*





**La chaux**

La chaux fait partie des plus anciennes technologies de construction et demeure un matériau important de nos jours. Il y a plus de 9 000 ans, au Proche Orient, on commença à utiliser de la chaux dans les plâtres architecturaux pour protéger les bâtiments en terre et construire les planchers, avant l'invention de la céramique. Des archéologues ont trouvé les premières traces d'enduit à la chaux lors de fouilles en Israël (Yiftahel) et en Syrie (Abu Hureyra).

Parallèlement, la maçonnerie s'est perfectionnée. Les briques de terre crue moulées et séchées sont devenues plus courantes. D'après les recherches archéologiques, la boue ou l'argile furent les premiers liants utilisés dans les mortiers. En Turquie, à CatalHüyük, des recherches ont permis de découvrir les premières indications d'un mortier de chaux, aux environs de 1500 avant Jésus Christ. Pendant l'époque romaine (du VIII<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ au IV<sup>e</sup> siècle après Jésus-Christ), la technologie de la chaux s'est perfectionnée. Des matières « pouzzolaniques » (il s'agissait alors des cendres du volcan de Pouzzoli, en Italie) ont été ajoutées qui ont permis de créer la chaux hydraulique.

Le début du XIX<sup>e</sup> siècle voit l'apparition des premières expérimentations sur le ciment moderne et le début de sa production. Louis Joseph Vicat, en France, et John Smeaton, en Angleterre, ont en effet redécouvert et développé la technologie du ciment datant de l'époque romaine (du VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. au V<sup>e</sup> siècle ap. J.-C.). Grâce aux progrès de l'industrie et de la chimie, les techniques de production du ciment à prise rapide et avec une bonne résistance mécanique se sont améliorées. Le ciment a connu un véritable succès. La chaux a, par conséquent, commencé à être moins utilisée en construction.

Sur l'île d'Hispaniola, depuis le début de la colonisation, il existait une industrie de la chaux et des fours à chaux un peu partout dans le pays, qui satisfaisaient à la demande du marché local. La chaux était particulièrement utilisée dans l'industrie sucrière, pour réduire l'acidité du jus de canne pendant la production de la mélasse. On employait également la chaux dans la construction. Jusqu'à aujourd'hui, on trouve des fours à chaux dans les campagnes, mais leur production a beaucoup diminué.

À l'époque de la construction des maisons Gingerbread, c'est-à-dire à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'industrie du ciment avait déjà pris son essor aux États-Unis et en France, mais il n'existait pas d'industrie du ciment en Haïti. Les maçons haïtiens ont donc continué à utiliser la chaux pour la fabrication du mortier. La chaux était souvent utilisée pour les enduits dans les maisons Gingerbread, et il est possible qu'on ait mélangé de la chaux avec de l'argile ou de la terre (tuf calcaire) pour les mortiers des remplissages des pans de bois (colombages).

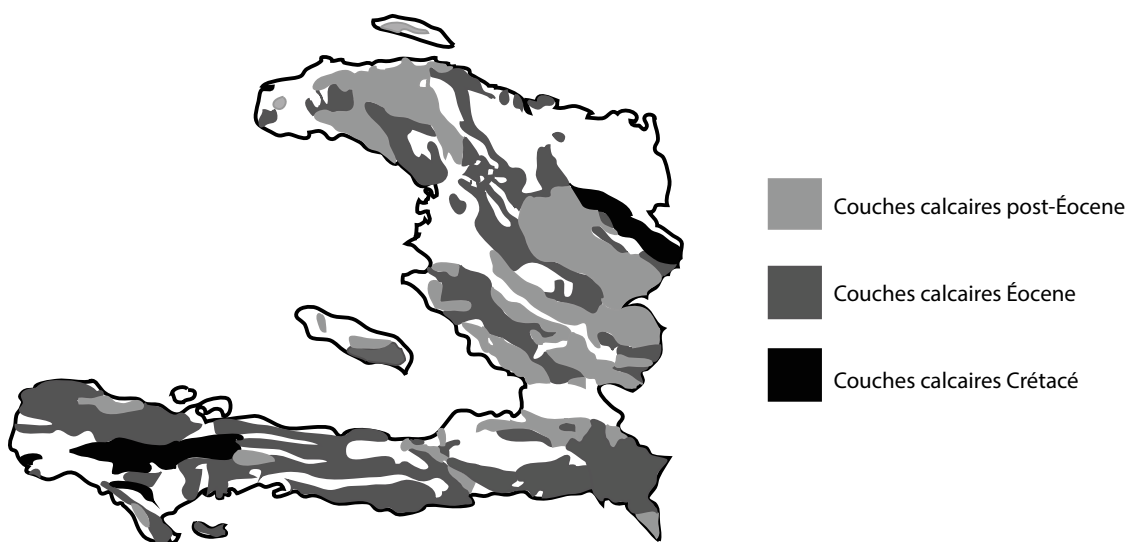
Devant l'importance de la chaux dans le patrimoine bâti haïtien, Jacques de Pierpont, géomètre expert, juré et formateur de l'Institut du patrimoine wallon, a réalisé une première formation sur la chaux pour les stagiaires de l'atelier-école de la maison Dufort en 2013. Il a présenté les différentes étapes de la production de la chaux, les réactions chimiques du cycle de la chaux et les avantages à utiliser le mortier de chaux sur les chantiers de restauration de patrimoine bâti.

## Production de la chaux

Le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) est le matériau de base pour la production de la chaux. En Haïti, on trouve du carbonate de calcium dans les coquillages et les pierres de calcaire. Historiquement, les gros coquillages comme le lambi, ont été surtout utilisés dans les fours à chaux côtiers, tandis que les pierres calcaires étaient utilisées dans les mornes, où se trouvent les carrières.

Les sols haïtiens sont riches en calcaire. Exception faite des zones où le sol est majoritairement constitué de roches volcaniques, Haïti est presque entièrement formée de sols issus de formations géologiques marines. Pendant des millions d'années, les coquillages, les coraux, les squelettes des animaux marins, se sont déposés sur les fonds marins, formant de grosses couches sédimentaires qui se sont solidifiées jusqu'à donner de la pierre. Le déplacement des plaques tectoniques a entraîné le soulèvement de ces couches et les montagnes d'Haïti ont vu le jour. Il existe très peu de calcaire très ancien (les premières couches datent du Crétacé, c'est-à-dire d'il y a 145,5 à 65,5 millions d'années) et la grande majorité des gisements datent de l'Eocène (il y a 55,8 à 33,9 millions d'années), voire sont encore plus récents.

D'après le Bureau des mines et de l'énergie haïtien, le carbonate de calcium qu'on trouve dans les montagnes haïtiennes est l'un des plus purs de la Caraïbe. Deux gisements sont particulièrement intéressants pour l'exploitation industrielle : le gisement de Calebassier et le gisement de Paillant, tous deux à proximité de Miragoane, dans le département des Nippes. De nos jours, avec le déclin de l'industrie sucrière et l'évolution des matériaux utilisés en construction, on extrait peu de calcaire bien qu'il soit présent sur tout le territoire.



*Carte des couches calcaires en Haïti*

Au XXe siècle, l'utilisation du ciment dans la maçonnerie s'est généralisée en Haïti. Les maçons emploient des parpaings (blocs) préfabriqués en ciment et utilisent du mortier de ciment. Le ciment est également composé de calcaire et peut être produit en Haïti. Il n'existe aujourd'hui qu'une seule cimenterie, la Cimenterie nationale, à Aubry, qui conditionne des produits importés. La majorité de la demande locale en ciment est satisfaite par l'importation.

# Cycle de production de la chaux

Le cycle de production de la chaux est composé de trois étapes : la calcination, l'extinction et la prise. A chaque étape, des changements chimiques et physiques se produisent, néanmoins le cycle débute et finit avec du carbonate de calcium.

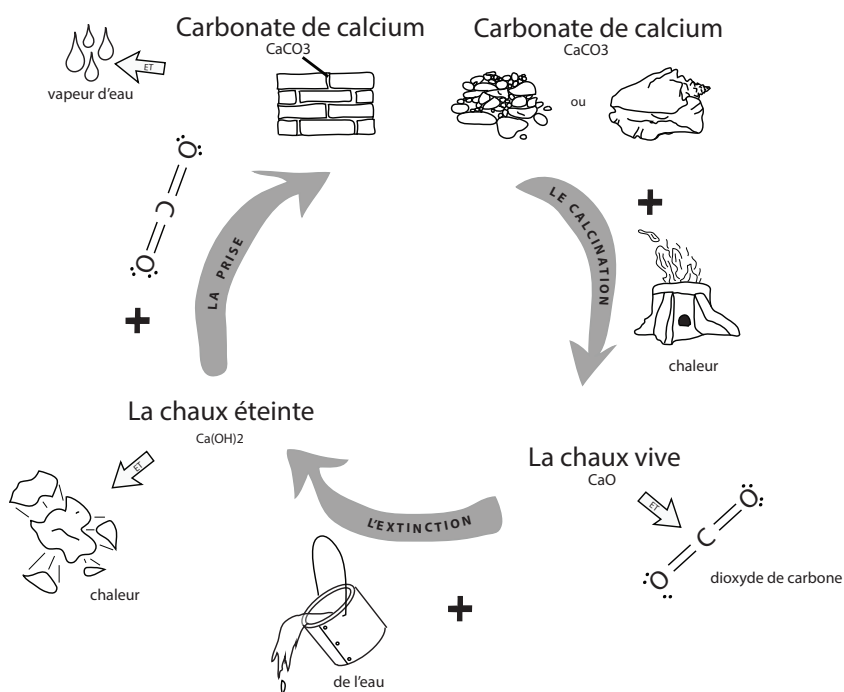
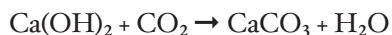
Pour la calcination, il faut un feu d'au moins 900°C, ce qui nécessite un très bon four. En Haïti, les fours à chaux ont d'abord été construits en brique ou en terre, on en trouve les ruines un peu partout dans le pays. Puis, les fours ont été réalisés en empilant des couches de pierres calcaires et des couches de bois, et on fait brûler les pierres pendant plusieurs heures. Il faut beaucoup de bois pour atteindre la température requise, aussi la production artisanale de la chaux risque-t-elle de participer au déboisement. La chaleur entraîne une dissociation chimique du calcaire en deux parties : l'oxyde de calcium (la chaux vive) et le dioxyde de carbone :



La deuxième étape de production de la chaux est l'extinction. On mêle la chaux vive (CaO) avec de l'eau (H<sub>2</sub>O) pour la réhydrater. Au contact de l'eau, la chaux vive se gonfle et chauffe. Cette réaction est rapide et peut être violente si elle a lieu dans un espace confiné. Traditionnellement, l'extinction de la chaux se faisait sur le chantier, dans un bassin construit pour pouvoir contenir la réaction. Aujourd'hui, l'extinction est réalisée de façon industrielle. Les produits nécessaires sont l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)<sub>2</sub> ou chaux éteinte) et la chaleur :



Ensuite, on peut utiliser la chaux éteinte pour fabriquer du mortier ou de l'enduit. La prise se fait grâce à l'air : il s'agit de la carbonatation. Cette étape est plus longue que les étapes précédentes. Le liant du mortier constitué par la chaux éteinte absorbe le dioxyde de carbone de l'air, aspire la vapeur d'eau, et redevient calcaire. Dans le mortier, on ajoute du sable, mais chimiquement le mélange reste quasiment inerte :



Le cycle de la chaux

Il existe plusieurs variétés de chaux et leur qualité dépend de la composition chimique du calcaire. Le calcaire pur est très rare. Le calcaire contient souvent d'autres minéraux, comme l'argile. Il existe plusieurs types d'argile qui contiennent des éléments comme le fer, la silice, l'alumine, le sodium, le manganèse ou le soufre. Si on fabrique de la chaux avec un calcaire chargé en argile, d'autres réactions se produisent pendant la cuisson. Ainsi, le clinker contient de la chaux, de l'aluminate tricalcique, de la silicate tricalcique, de la silicate bicalcique et des oxydes de fer. Cuites et broyées, les nodules de clinker sont un liant, comme la chaux, mais avec des propriétés différentes. Un liant de clinker est hydraulique, il a une prise rapide, une meilleure imperméabilité et une plus grande dureté.

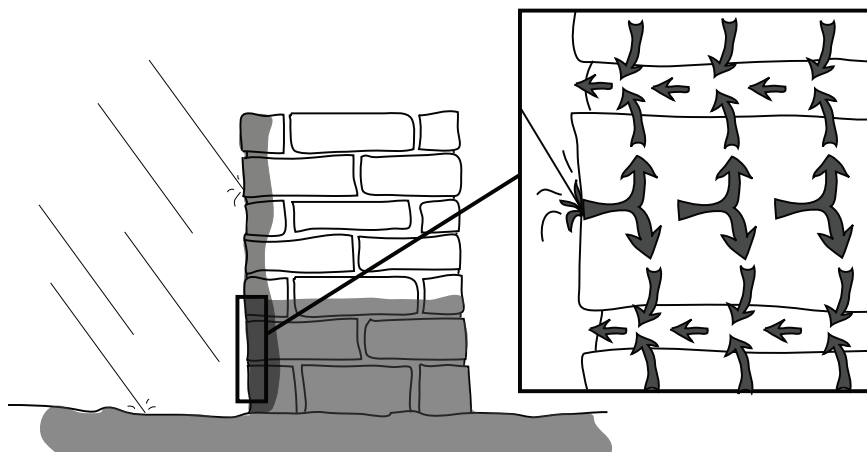
Si on utilise un calcaire qui contient 5% à 20% d'argile (ce qu'on appelle de la chaux hydraulique naturelle), il y aura des réactions hydrauliques pendant la prise qui produiront du clinker et en même temps, mais moins rapidement, se produira la carbonatation de la chaux éteinte. La durabilité provient de la prise hydraulique à 70-80% et de la prise aérienne à 20-30%. Si on utilise du clinker tout seul, on obtiendra un ciment artificiel avec une prise à 100% hydraulique.

## Différences entre la chaux et le ciment

Parmi les différences entre la chaux et le ciment : la dureté. La chaux fabriquée avec du calcaire comprenant moins de 5% d'argile (chaux grasse) a une résistance à la compression après la prise d'environ 30 kg/cm<sup>2</sup>. Pour la chaux hydraulique naturelle, qui contient 5% à 20% d'argile, la résistance à la compression est double et peut aller jusqu'à 100 kg/cm<sup>2</sup> grâce à la prise hydraulique. Le ciment gris et le ciment blanc, qui sont fabriqués avec du clinker, ont une résistance encore plus importante : de 450 à 550 kg/cm<sup>2</sup>.

La souplesse de la chaux est une qualité pour la maçonnerie. Le mortier de ciment peut avoir une résistance en compression supérieure au mortier de brique, surtout les anciennes briques. Quand le ciment est plus dur que les briques, des changements subtils comme la dilatation thermique au quotidien peuvent endommager les briques. Il est plus intéressant alors d'avoir un mortier de chaux, qui se désintègrera plus rapidement que les briques qu'il suffira alors de rejointoyer.

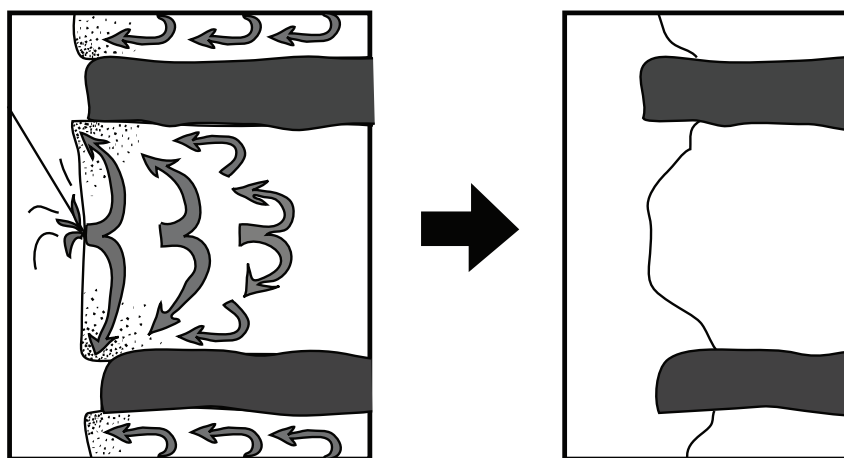
Par ailleurs, la chaux respire mieux que le ciment : le ciment est imperméable tandis que la chaux est drainante. Lorsqu'il pleut, la maçonnerie absorbe l'eau de pluie et l'eau de la terre qui remonte par capillarité. Un mortier de chaux permet de drainer cette eau et de l'évacuer du mur.



*Un mortier à la chaux respire.*

Avec un mortier de ciment, les briques absorbent l'eau et les sels contenus dans cette eau. L'imperméabilité du ciment empêche l'évacuation de l'eau et ce sont les briques qui absorbent et rejettent l'eau. Aussi, les sels contenus dans l'eau se cristallisent dans les briques et se concentrent le long des marges du mortier. Au fur et à mesure, ces sels affaiblissent la brique, tandis que le mortier de ciment demeure très dur. Les bords des briques se détériorent et la maçonnerie est endommagée.

Dans les pans de bois (colombages), la chaux est recommandée plutôt que le ciment pour la maçonnerie du remplissage. En effet, il a été constaté que les pans de bois dont les remplissages ont été faits avec du mortier de chaux ont eu beaucoup moins à souffrir des attaques de termites que les pans de bois dont les remplissages sont maçonnés en ciment. Très souvent, les pans de bois avec du ciment sont très abîmés par les termites : le ciment, imperméable, retient l'eau qui crée un terrain favorable aux insectes xylophages.



*Un mortier de ciment est imperméable et les briques sont affaiblies par les sels.*

Dans un chantier de restauration patrimoniale, un mortier de chaux a une bonne adhérence avec le mortier ancien. Néanmoins, les mortiers à la chaux nécessitent de l'entretien : il faut rejointoyer les briques lorsque le mortier s'effrite.

La pluie, les remontées d'eau par capillarité et les sels solubles sont des invariants auxquels les constructions doivent pouvoir résister. Aussi les maçons choisissent-ils les matériaux les plus aptes à évacuer l'eau et protéger la maçonnerie à long terme. Le mortier de chaux demeure donc un matériau de qualité pour assurer la qualité et la durabilité de la maçonnerie.



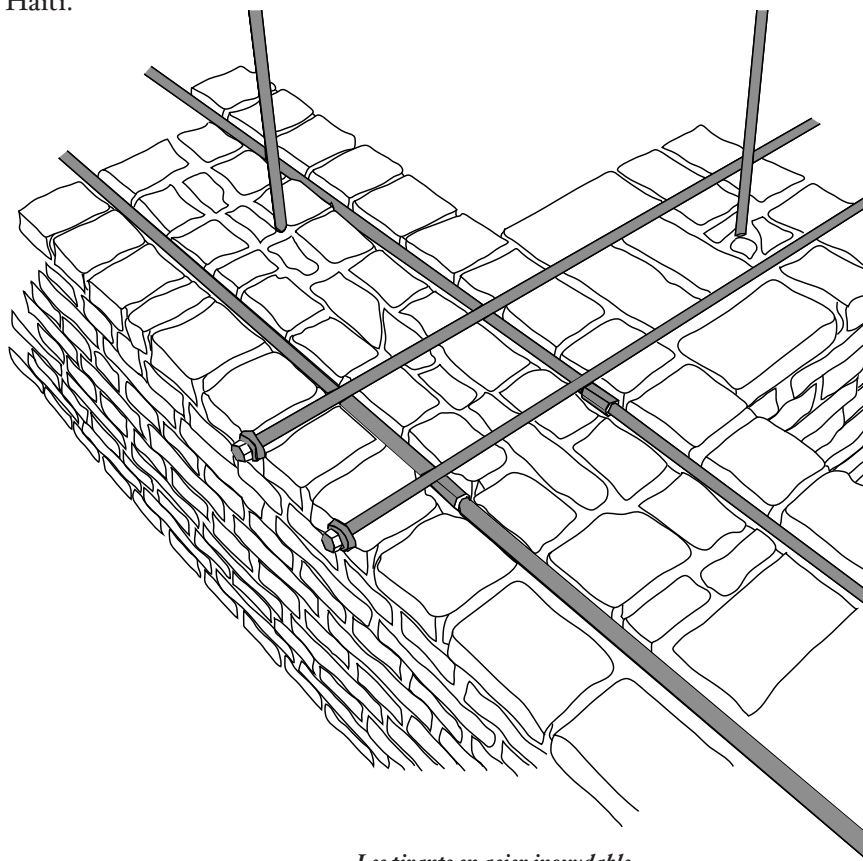


# **Le système parasismique**

Steve Kelley, ingénieur et architecte, travaillant pour Wiss, Janney, Elstner Associates à Chicago, a fait partie de la mission ICOMOS après le séisme qui a évalué la maison Dufort, alors quasiment en ruine. Puis il a participé au projet de restauration en qualité de consultant pour le World Monuments Fund. Il était en charge de proposer les plans de structure pour le renforcement parasismique de la maison, en appui aux architectes d'IDCO, avec pour objectif de rendre le système plus résilient en cas d'autres séismes. Plusieurs options furent considérées : refaire les murs exactement à l'identique avec des panneaux de remplissage reliés par des tirants courant le long des parois, ou renforcer les murs avec des panneaux de maçonnerie encadrés par des piliers et des ceintures en béton armé, intégrer une structure métallique à l'intérieur des parois en maçonnerie ou faire une structure métallique apparente à l'extérieur, ou encore refaire les murs complètement en brique avec un système de tirants horizontaux et verticaux pour les renforcer. Ces options ont fait l'objet de plusieurs discussions avec toutes les parties prenantes du projet pendant plusieurs mois. L'Institut du patrimoine wallon et FOKAL étaient partisans de la solution la plus proche de la structure d'origine mais aussi la plus performante sur le plan parasismique. Aussi le système utilisant des cadres de béton armé pour les panneaux de maçonnerie au mortier de chaux fut-il rejeté, d'autant que le tassement différentiel de la maçonnerie aurait, à terme, posé problème en interaction avec le béton. La reprise en maçonnerie de briques de l'ensemble des murs avec un système de tirants, fut donc adoptée.

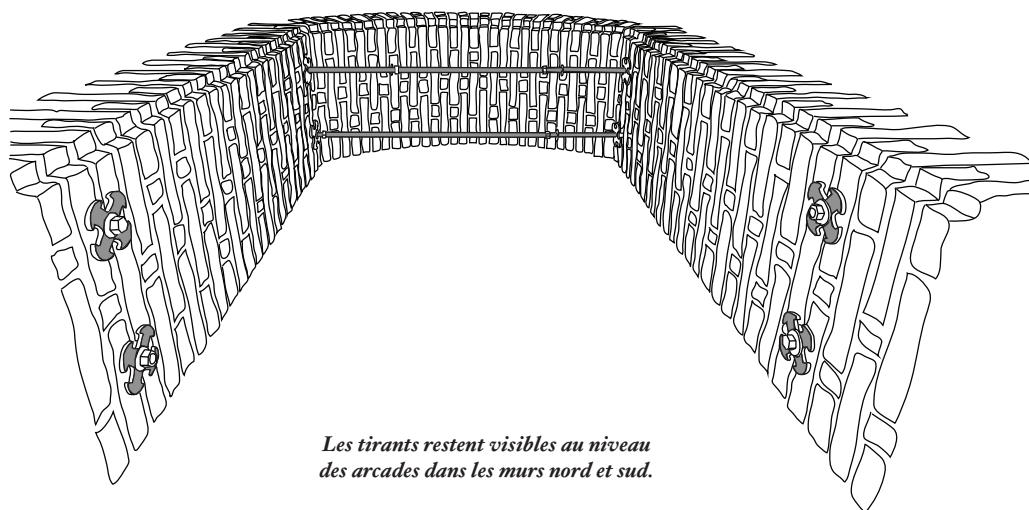
Ce système implique de passer des tirants verticaux et horizontaux dans la maçonnerie de briques au mortier de chaux et de passer des tirants dans le faux-plafond du rez-de-chaussée, perpendiculaires aux solives, de façon à constituer une cage métallique flexible qui puisse être déformée par les secousses et reprendre sa place après.

Lors de la préparation des fondations et des premières assises de briques, des tuyaux en PVC ont été mis en attente pour pouvoir ensuite insérer les tirants verticaux. A la 15<sup>e</sup> assise de briques, il a fallu attendre la livraison des tirants afin de placer les tirants horizontaux dans la maçonnerie. Ces tirants sont la partie intégrante du système de renforcement parasismique. Les tirants en acier inoxydable, plus coûteux, mais garantissant la résistance à long terme du système ont dû être importés des États-Unis. En effet, il n'existe plus de chaîne de fabrication d'acier inoxydable en Haïti.



*Les tirants en acier inoxydable*

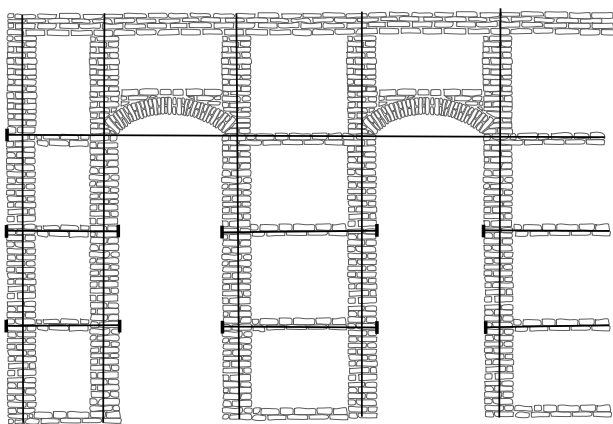
Il a été décidé de ne pas masquer les tirants dans la maçonnerie dans les murs nord et sud au niveau des arcades pour rendre visible le système parasismique et les modifications liées à la restauration aux yeux du grand public.



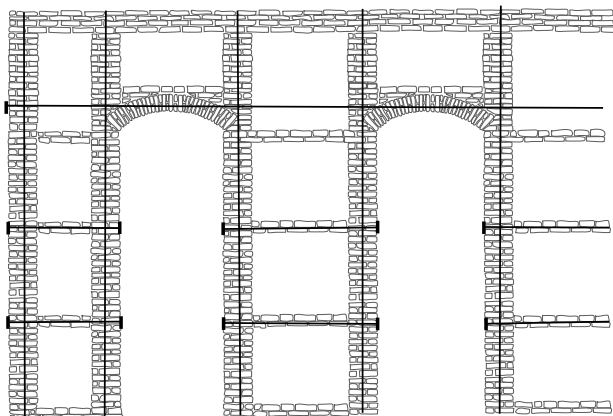
*Les tirants restent visibles au niveau des arcades dans les murs nord et sud.*

Dans les murs ouest et est, les tirants sont encastrés dans la maçonnerie des arcades. Il s'agit d'un choix esthétique. Ce travail a pris un peu plus de temps parce qu'il fallait couper les briques avec plus de précision pour inclure les tirants.

Sur les façades nord et sud et les murs intérieurs, l'insertion des tirants s'est faite comme suit : il y avait un tirant vertical dans chaque pilier et trois tirants horizontaux fixés aux extrémités par des plaques d'ancrage. Sur les murs est et ouest, le premier tirant à partir du haut passe au centre de la maçonnerie de l'arcade.



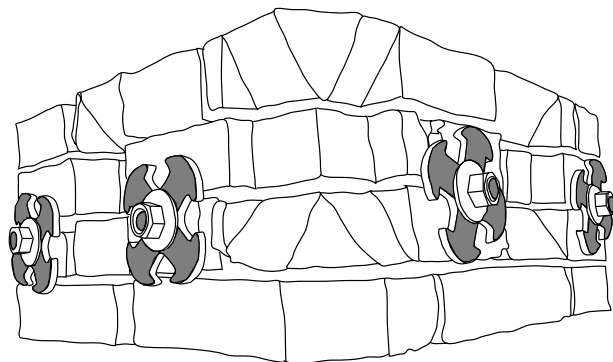
*Le système parasismique dans les façades nord et sud et les murs intérieurs*



*Le système des tirants dans les façades est et ouest*

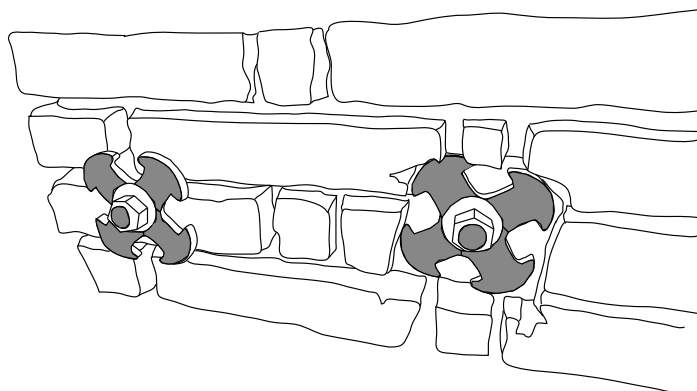
## Des plaques d'ancrage aux extrémités (ancres)

Chaque extrémité des tirants est fixée avec une plaque cruciforme en acier inoxydable. Lorsque les extrémités des tirants tombent dans les assises en briques moulurées, l'appareillage des briques a été modifié pour créer des surfaces plates et installer solidement les ancrs. Il s'agit d'une technique qui était déjà utilisée à l'époque de la construction des maisons Gingerbread, mais on se contentait alors de liaisonner avec un tirant uniquement la partie supérieure du mur. Les ancrs avaient parfois des motifs décoratifs comme des fleurs de lys.



*Les ancrs*

Les ancrs sont visibles, comme souvent dans la construction traditionnelle, pour mettre en valeur le système parasismique.



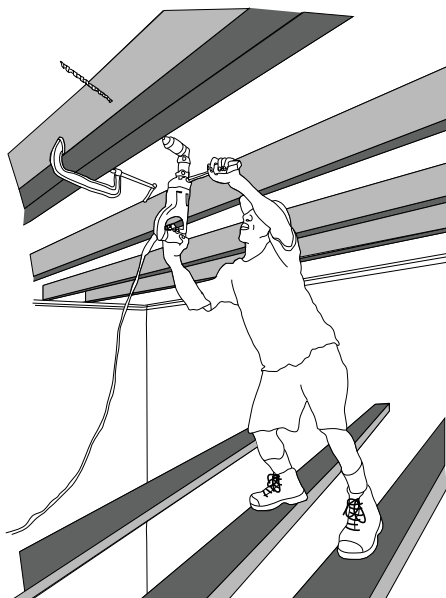
*Une ancre normale et une ancre installée dans une cavité*

Il est parfois nécessaire d'installer ces plaques dans des cavités, par exemple pour installer ensuite les portes.

## Système parasismique au premier étage

Chaque pièce présentait un défi différent pour l'installation du système parasismique au premier étage. Une discussion préalable avait lieu avant de commencer les travaux dans chaque pièce. En général, le travail se déroulait en trois étapes : le renforcement des solives existantes avec des pièces de bois, l'introduction des tirants en acier inoxydable dans le sens opposé aux solives, et la fixation en place des tirants avec un système de cornières au dessus des murs de chaque pièce. Souvent, l'espacement des tirants a été déterminé en fonction des possibilités d'installation des cornières.

Une fois l'espacement déterminé, il fallait installer le système de renforcement des solives. Ce système consiste en des poteaux 4×4 traités préalablement contre les termites. Un boulon a été passé tous les 40–50 cm. entre la solive et le 4×4 pour mieux les serrer. Puis des ficelles ont été disposées comme repères pour marquer les endroits où passer les tirants.



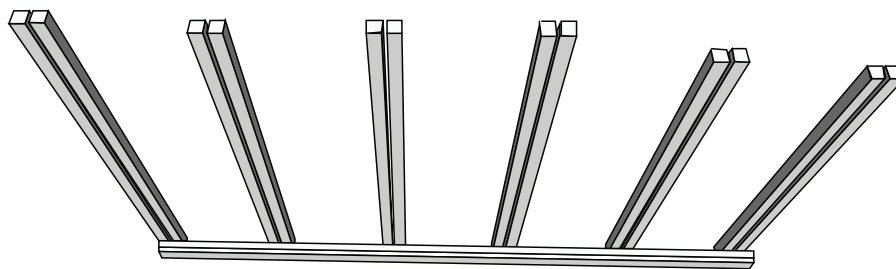
*Le forage avant de renforcer les solives*

Ensuite, des entretoises en bois traitées contre les termites ont été installées. Il était parfois plus aisé de faire les trous dans les solives pour passer les tirants avant d'installer les entretoises. Les entretoises ont été clouées en place, avec des clous plutôt que des vis car les clous sont plus flexibles que les vis en cas de secousses sismiques. En effet, les vis risquent de se casser tandis que les clous peuvent se tordre mais ne se cassent pas en cas de tremblement de terre.

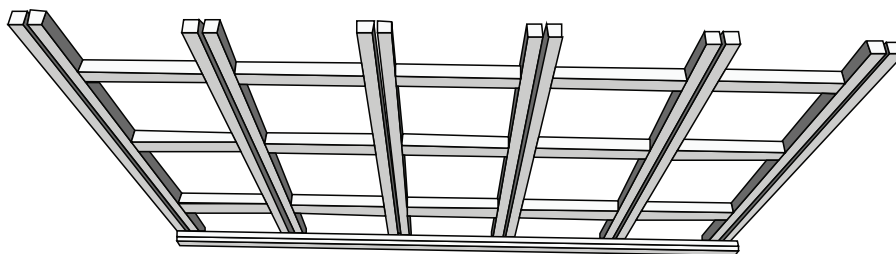
Puis l'équipe a foré les solives pour passer les tirants, en faisant jouer la mèche pour avoir un trou suffisamment large. Le foret était en métal pour une meilleure résistance, en particulier à cause des clous restés dans le bois. Deux foreuses d'angle ont été achetées pour faciliter le travail.

Après le forage, les tirants ont été installés dans les solives. Les différentes sections ont été mises bout à bout en les boulonnant. Chaque section de tirant mesure 1,50 m et a parfois dû être découpée pour être ajustée. Pour résumer, le travail de renforcement du plancher haut du rez-de-chaussée s'est déroulé comme suit : installation des poutres le long des solives pour

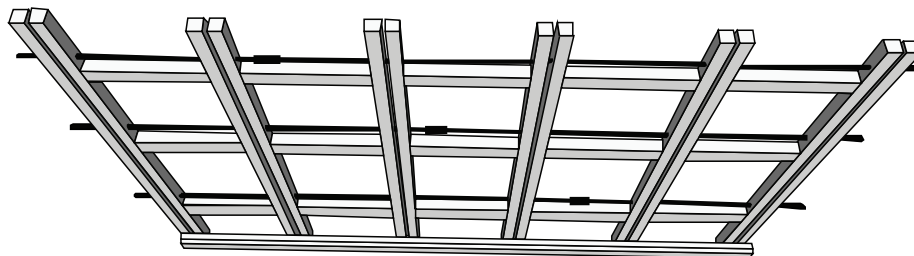
les renforcer, installation des entretoises perpendiculairement aux solives, et enfin, installation des tirants le long des entretoises à travers les poutres de renforcement et les solives.



1



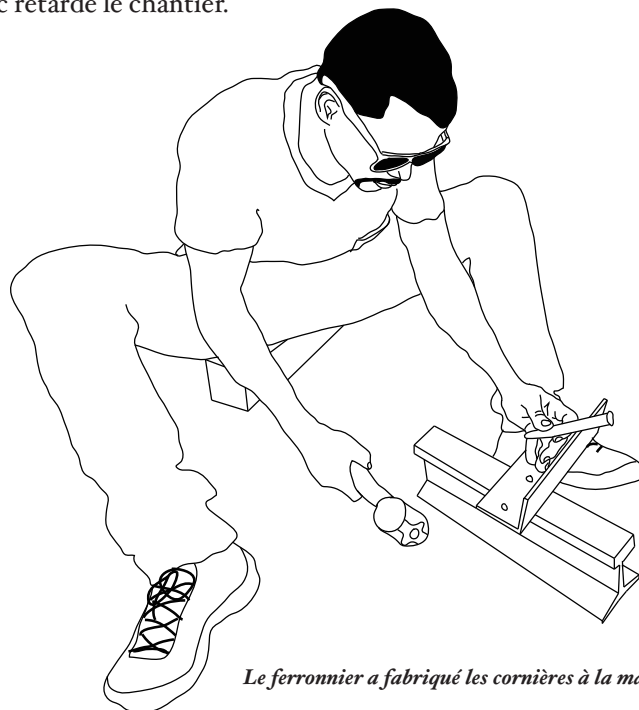
2



3

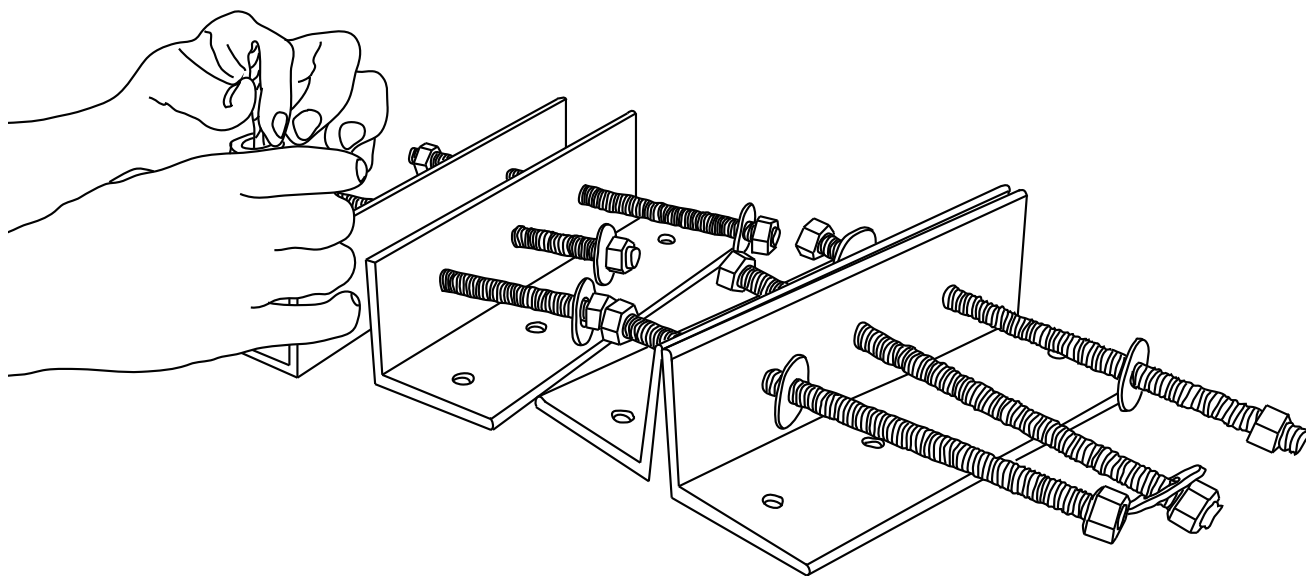
*Le travail de renforcement du plancher haut du rez-de-chaussée*

Selon les plans faits par Steve Kelley, des cornières métalliques devaient fixer les tirants en place. Le marché local ne disposant pas de cornières assez robustes ou à la bonne taille, on a fait appel à un ferronnier qui a fabriqué les pièces sur le chantier. Cet artisan réalise généralement ses pièces à la main. Néanmoins, dans le cas des cornières, la fabrication à la main manquait de précision et n'était pas suffisamment rapide. Les pièces mal exécutées ont été refaites et cette étape a donc retardé le chantier.



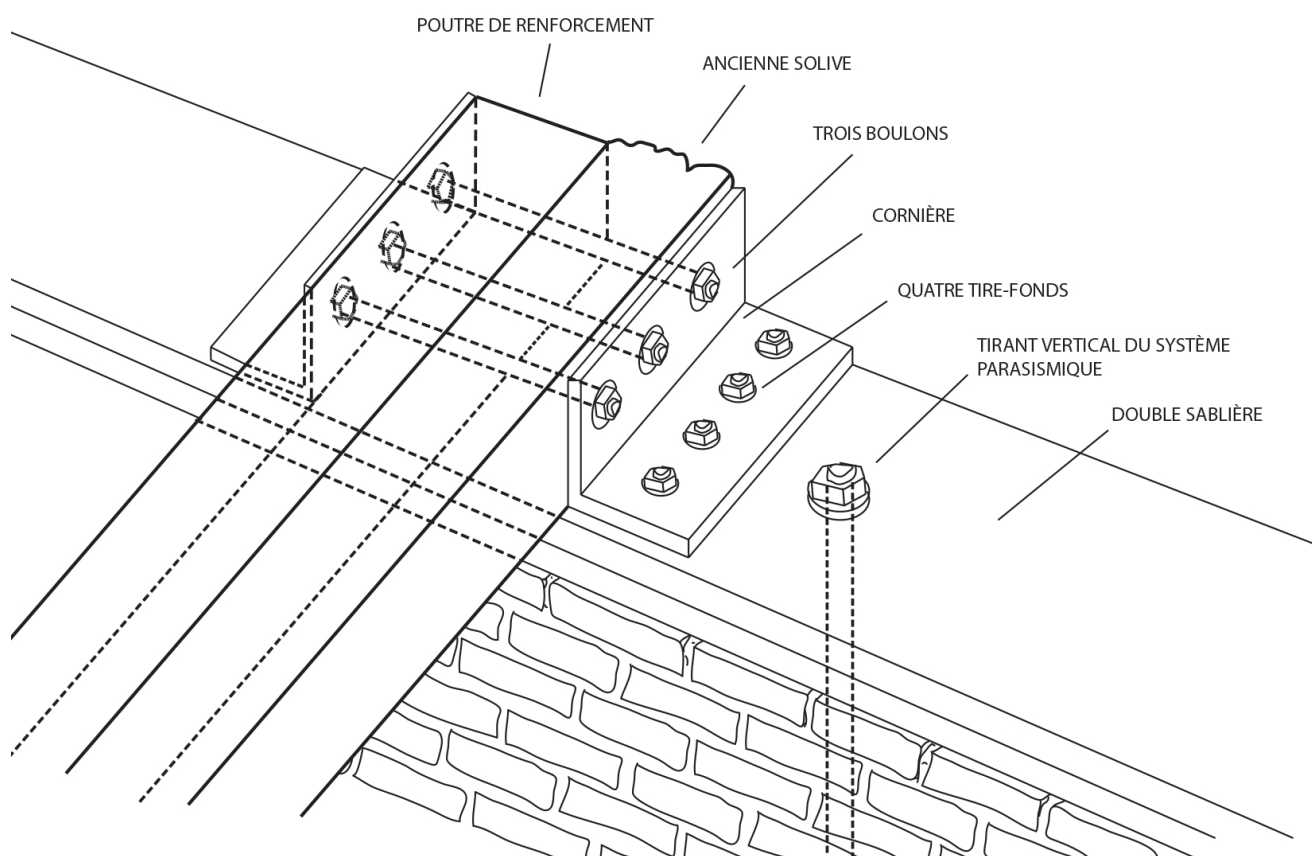
*Le ferronnier a fabriqué les cornières à la main.*

Le travail d'installation des cornières devait en effet être mené rapidement pour permettre à l'équipe en charge de la restauration des pans de bois au premier étage de travailler. Un système a été mis en place pour vérifier les pièces du ferronnier en s'assurant que les boulons passaient entre les trous des cornières. Si nécessaire, il fallait alors élargir ces trous et arrondir les extrémités des boulons.



*Vérification du travail du ferronnier*

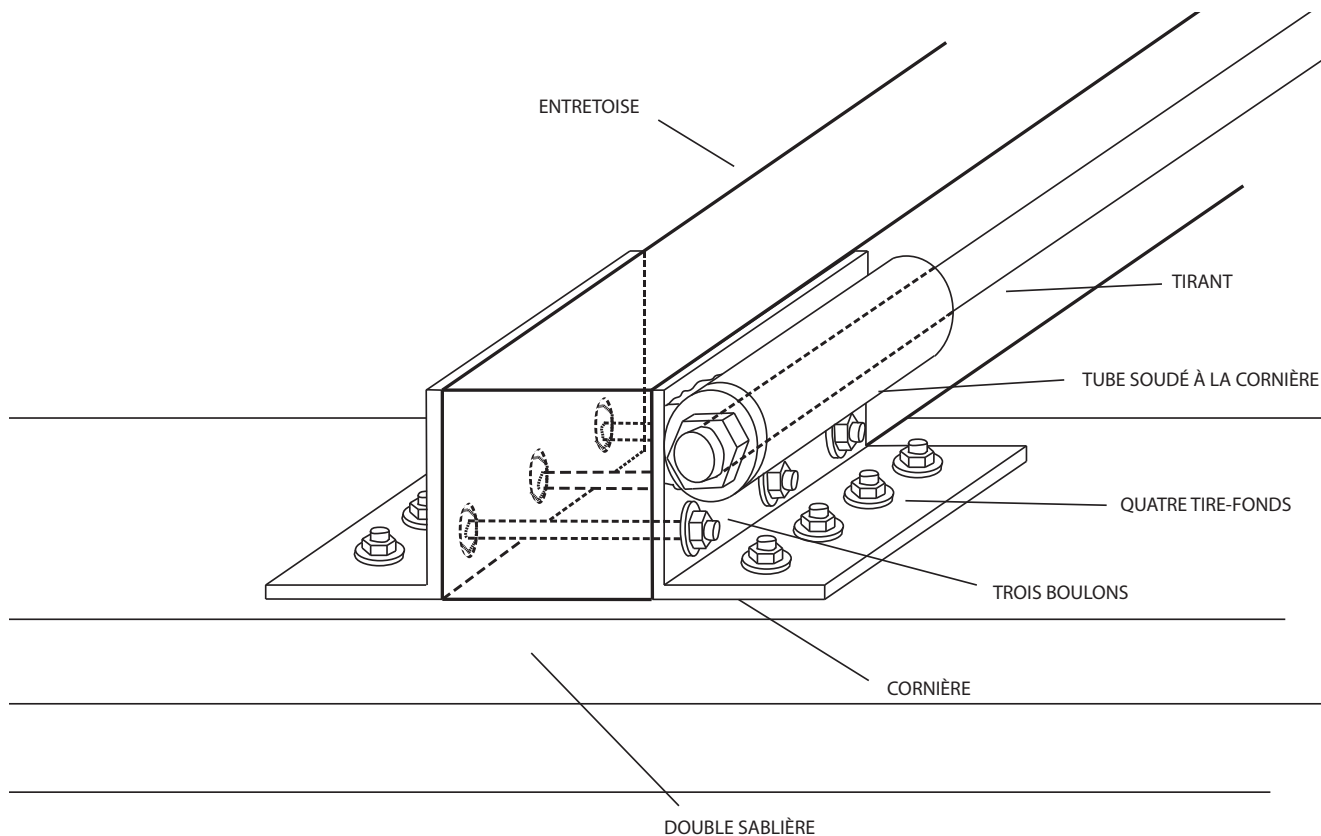
Puis l'équipe a commencé à installer les cornières liant les planches de renforcement des solives avec les solives grâce à trois boulons. Les planches étaient elles-mêmes reliées par huit tirefonds (quatre de chaque côté), comme on peut le voir dans le croquis suivant. En forant les trous pour les boulons horizontaux, l'équipe a pris garde à l'orientation de la mèche pour que le trou arrive jusqu'à l'ouverture dans la cornière opposée.



*Installation des cornières*

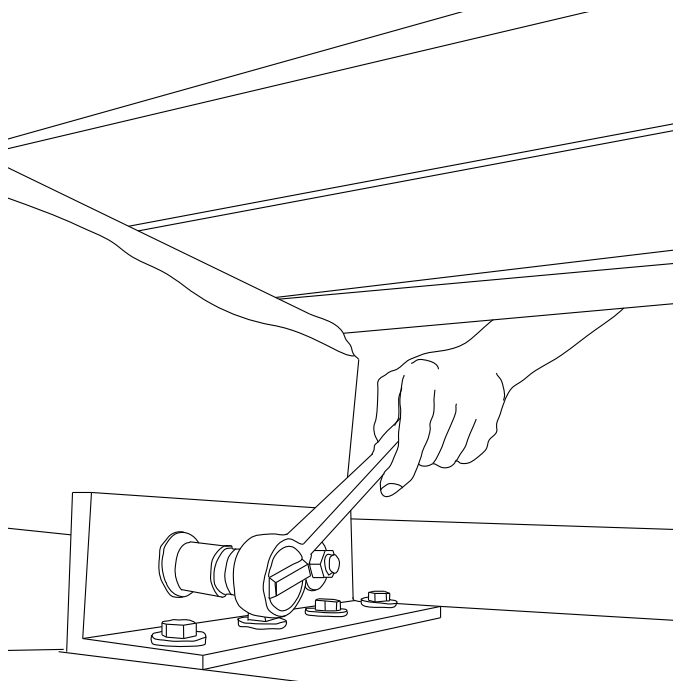
Après cela, l'équipe a installé les cornières, points de fixation des tirants au niveau de l'étage. Le ferronnier a soudé des tubes sur l'une des deux cornières. Les deux cornières étaient fixées à l'entretoise avec trois boulons et à la double sablière avec huit tirefonds (quatre dans chaque cornière). Les tirants déjà en place, d'une extrémité à l'autre de la pièce, ont été passés dans les tubes et boulonnés à l'extrémité du tube.





#### *Installation des points de fixation des tirants au niveau de l'étage*

Les tirefonds, boulons et tirants ont été serrés pour que le système soit mis sous tension et opérationnel. Il faut commencer par serrer les tirefonds verticaux, puis les boulons horizontaux. Enfin, on peut serrer les tirants. Parfois, des tiges d'acier inoxydable et de la résine epoxy ont été insérées dans des trous en diagonale pour tenir les bouts des solives en place.



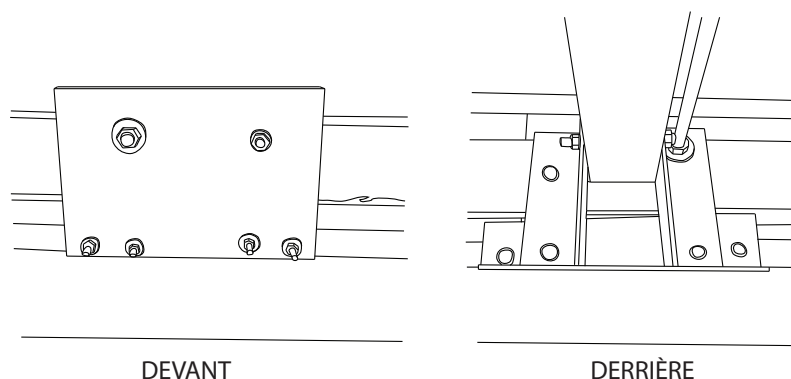
#### *Mise sous tension du système*



## Modifications

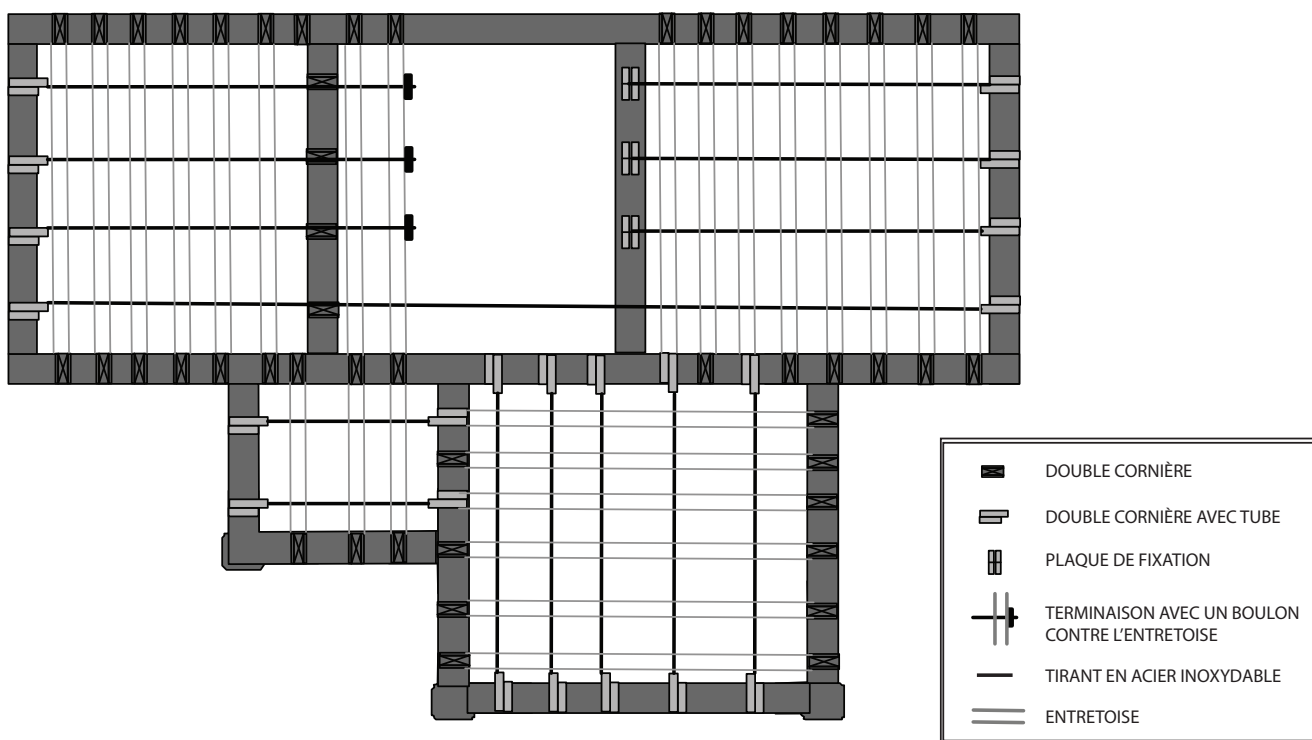
Il a parfois fallu modifier certains éléments du système pour l'adapter à la réalité. Ainsi il est arrivé que les tirants sortent de la maçonnerie à l'endroit où la cornière devait être installée : la cornière doit alors être coupée pour accommoder le tirant vertical et attachée à la sablière avec seulement deux tirefonds.

Le mur au sud de l'escalier n'avait pas une largeur suffisante pour recevoir les cornières. Or il n'était pas possible de faire des cornières plus courtes sans perdre en solidité, donc l'orientation des cornières a été modifiée. Sur les conseils de Steve Kelley, un système de plaques de fixation verticales a été installé, voir le croquis suivant.



*La modification des plaques de fixation*

Ci-dessous un plan du rez-de-chaussée au niveau du plafond qui montre le système parasismique horizontal tel qu'il a été installé. Les poutres de renforcement passent entre les doubles cornières situées sur les murs opposés, ou parfois entre une double cornière et une double cornière avec un tube. En général, les tirants passent entre les doubles cornières avec tubes, à l'exception de six points de fixation situés autour de la cage de l'escalier. Des plaques et des boulons ont dû être employés à cet emplacement.



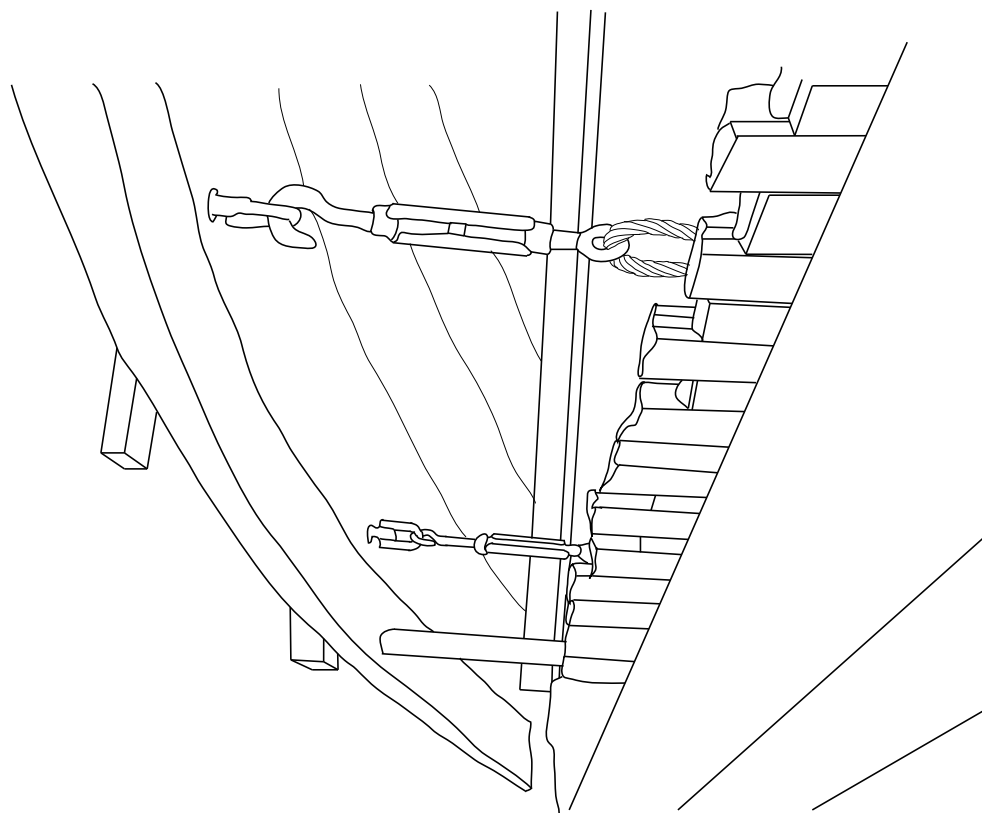




## **Remise en place de l'étage**

Les imprévus sont courants dans les chantiers de restauration. Des dégâts peuvent en effet se révéler au fil des travaux, particulièrement quand un bâtiment a été soumis à un événement tel que le séisme du 12 janvier 2010.

Le diagnostic préliminaire du bâtiment n'avait pas permis de déceler que le premier étage de la maison Dufort n'était plus dans son alignement d'origine. C'est lorsque les premières assises ont été posées et alignées pour remonter les murs du rez-de-chaussée, qu'il est apparu que l'étage s'était déplacé pendant ou après le tremblement de terre. La façade arrière (Est) de l'étage risquait ainsi de se retrouver dans le vide. Pour éviter cette situation, un système a été installé pour reprendre les charges avant le retrait des besaces.



*Il y avait un vide de 29 cm entre les planchers du mur sud et les sablières de l'étage.*

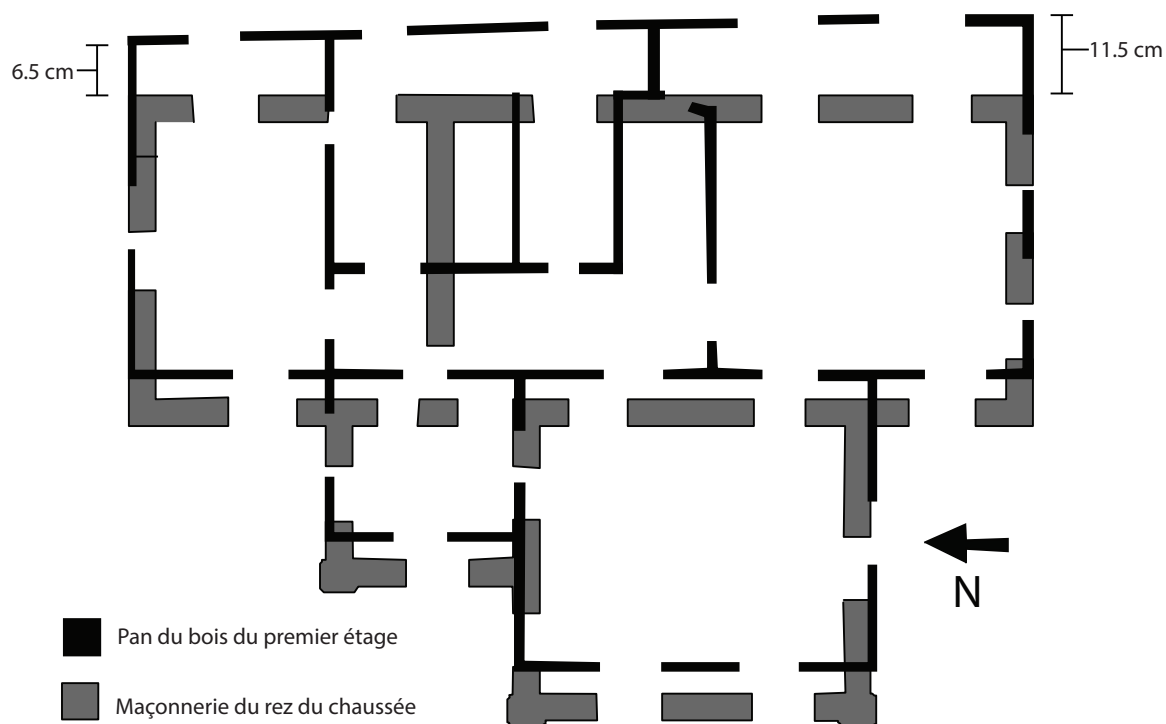
A l'origine, la structure de l'étage n'était pas reliée mécaniquement à la structure du rez-de-chaussée, ce qui explique que le déplacement ait pu avoir lieu. L'étayage mis en place avec les crics hydrauliques a pu accentuer la déformation. Un système de câbles a ensuite été installé pour stabiliser les murs du premier étage. Avant l'installation des câbles, on a constaté un vide de 29cm entre les planchers du mur sud et les sablières de l'étage. Le déplacement n'était pas uniforme sur toute la longueur de la façade Est : elle était de 11,5 cms côté Sud-est et environ 6,5 cms côté Nord-est.

Il fallait par conséquent replacer l'étage une fois le remontage de la maçonnerie du rez-de-chaussée achevé. Ce défi a fait l'objet de nombreuses discussions entre Patrick Lacroix, Marcel Osvald, formateurs de l'Institut du patrimoine wallon, Steve Kelley du World Monuments Fund et Thierry Chérizard de FOKAL. En prévision du futur déplacement, des plaques métalliques entre les solives et les sablières ont été installées sur la façade Est, le mur GBAM et les murs de la façade Ouest, au moment du retrait des besaces, pour faciliter le glissement de l'étage par la suite.

L'utilisation d'une grue a été rapidement écartée, cette solution était coûteuse, demandait l'utilisation d'espace en dehors du périmètre de la maison et des points d'appui qui n'étaient pas disponibles. Les formateurs ont cherché à faire réfléchir les stagiaires sur des moyens plus à leur portée, des techniques plus douces et plus en accord avec la philosophie qu'ils leur inculquaient : le respect de l'intégrité de la maison et du travail des prédécesseurs.

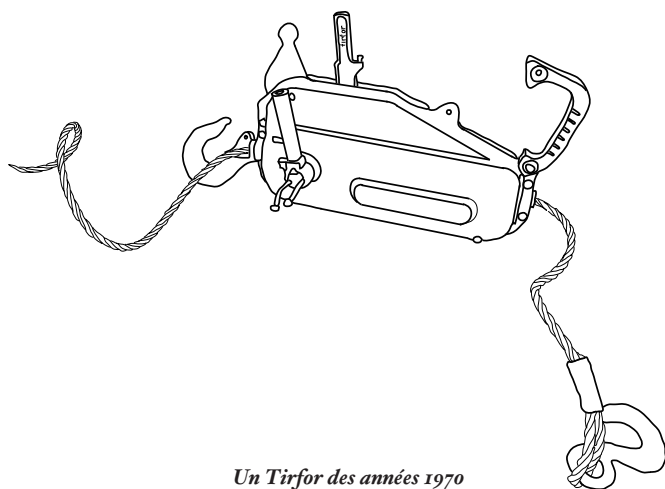
## Préparations

On a commencé par une évaluation de l'écartement. Ce croquis montre la situation avant les manœuvres, l'écartement est volontairement exagéré. C'est à l'est que l'écartement était le plus important. Il était de 6,5 cm au coin Nord-Est et de 11,5 cm au coin Sud-Est.

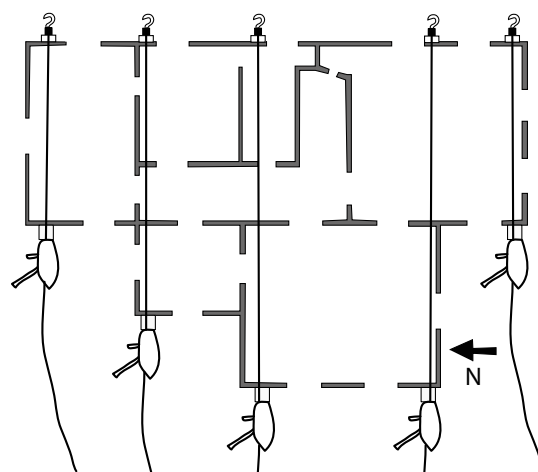


*Plan des deux étages superposés*

Le Tirfor était l'outil indispensable pour réaliser le déplacement de l'étage. Il n'a pas été possible de louer ce matériel ou de l'acheter dans les quincailleries, il a fallu recourir à une entreprise de déménagement. Trois Tirfors ont été loués : l'un de trois tonnes et demi, et deux d'une tonne et demi. Les seuls disponibles étaient trois Tirfors des années 1970, assez usés.



*Un Tirfor des années 1970*



*L'emplacement des Tirfor*

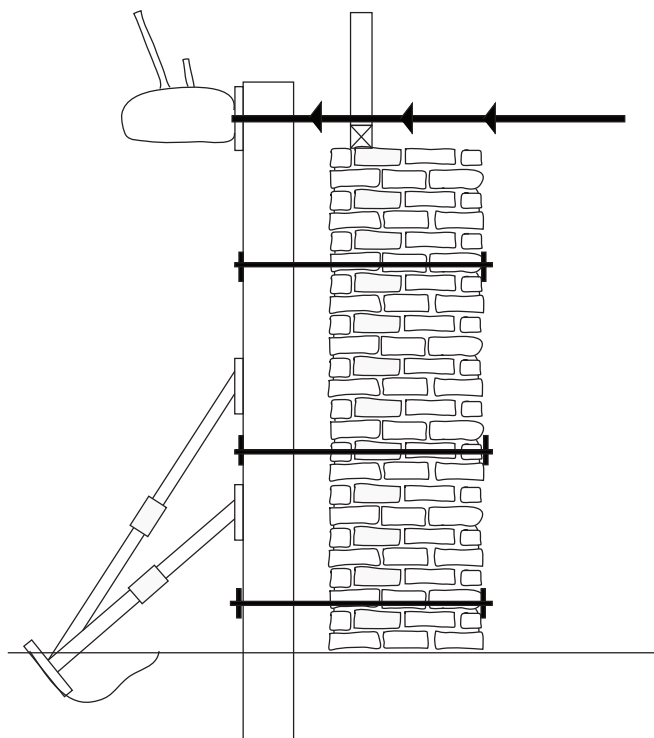
Les anciens poteaux démontés des échafaudages, ont été placés sur les galeries Ouest à l'extérieur, accolés aux piliers d'angle. Ils ont été utilisés comme supports pour tirer la maison. Deux Tirfors supplémentaires et moins vieux ont été installés. Au total, cinq Tirfors ont été utilisés sur la façade Ouest de la maison.

Après avoir perforé la maçonnerie, avec des mèches très longues fabriquées sur place, des tirants ont été installés pour solidariser les poteaux extérieurs avec les murs en maçonnerie et ainsi éviter le flambage des poteaux lors de la manœuvre. Deux ou trois tirants par poteaux ont été installés, ainsi que des étais.

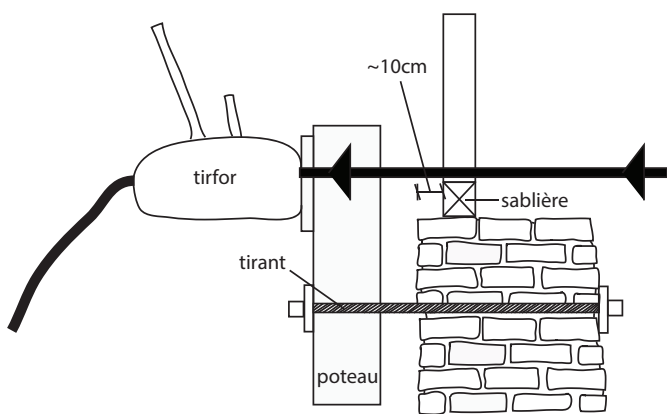


*Perforation de la maçonnerie avec une mèche très longue*

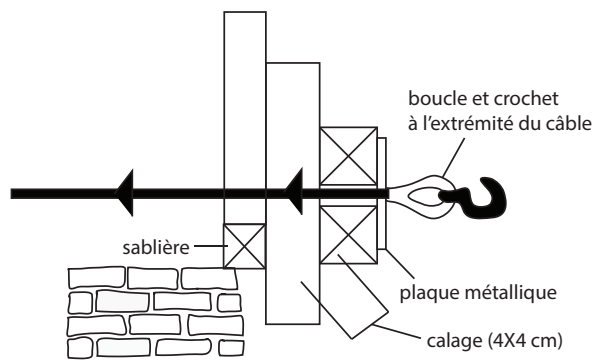
Deux étais renforçaient chaque poteau ainsi que deux ou trois tirants, pour éviter le flambage des poteaux.



*Renforcement de chaque poteau au-dessous de chaque Tirfor*



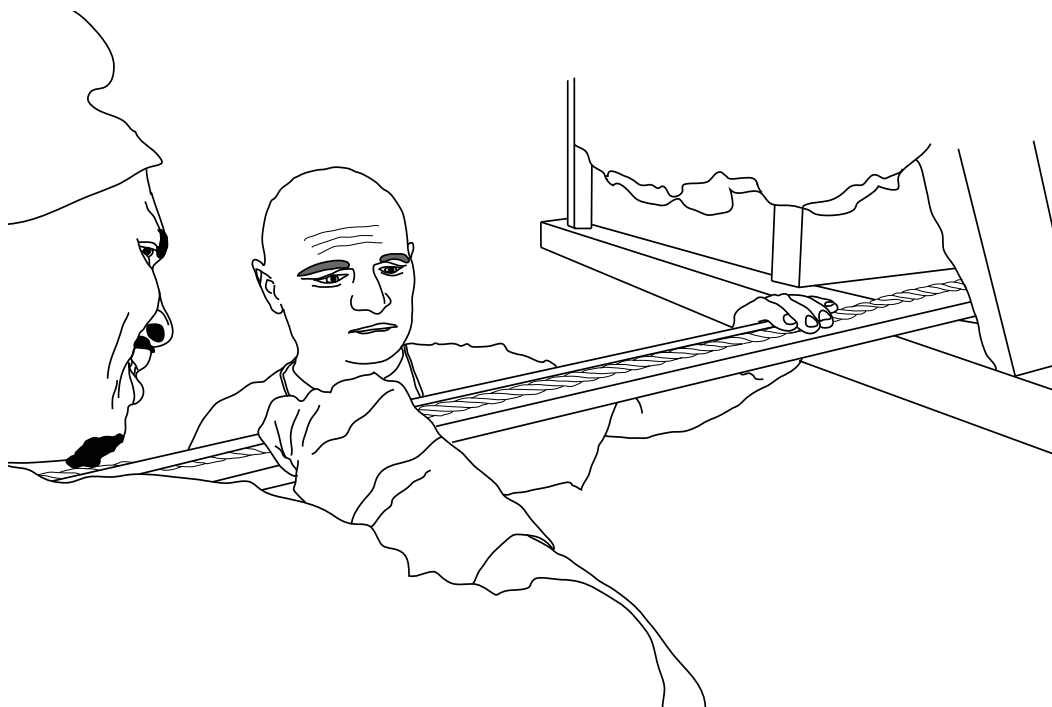
*Emplacement d'un Tirfor sur la façade Est*



*Point d'ancrage typique sur la façade ouest*

Sur la façade Est, un calage a été installé pour reprendre une large surface d'appui sur le pan de bois au moment de la poussée.

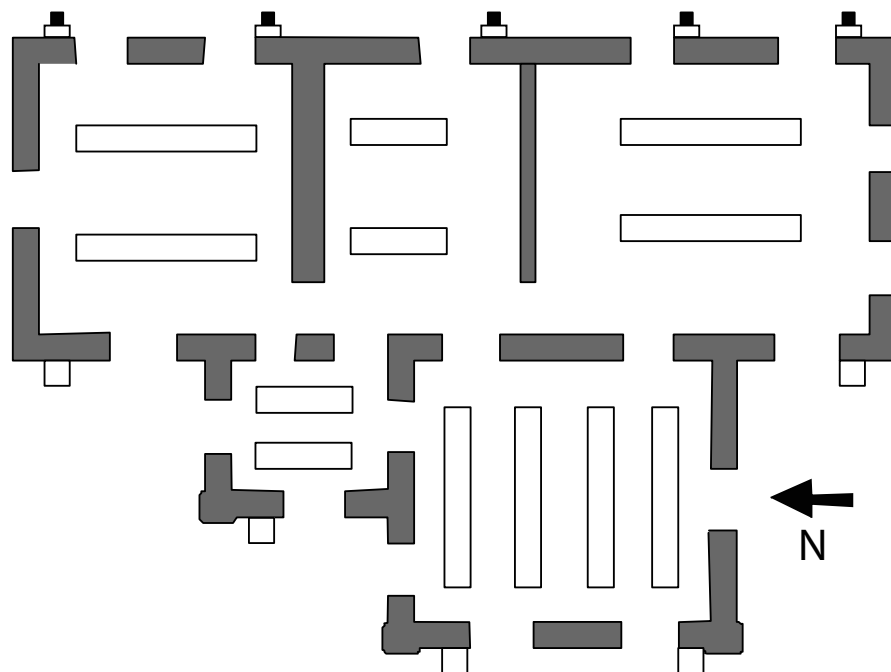
Des câbles ont été installés dans le sens des solives, avec des planches comme supports. Lorsque les solives étaient orientées nord-sud, elles ont été perforées pour pouvoir y passer des câbles.



*Les planches ont aidé à mettre en places les câbles de chaque Tirfor.*

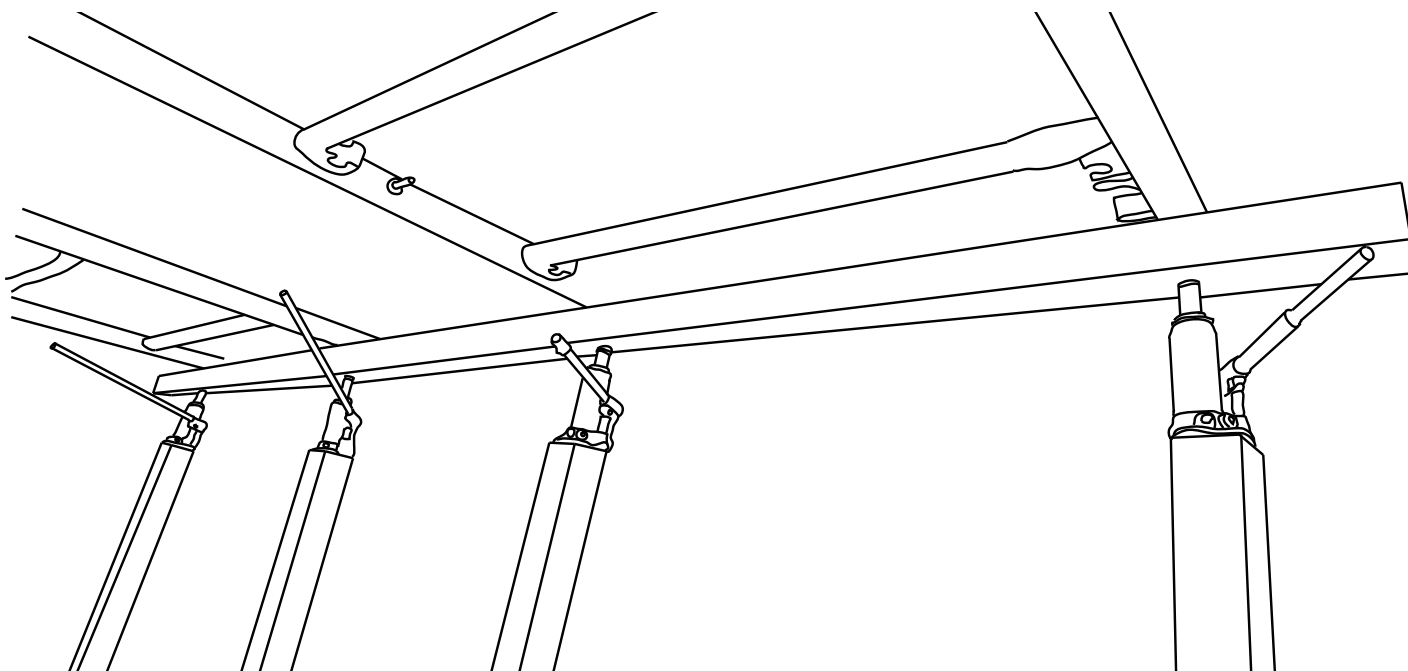
Grâce aux ferronniers de la troisième rue du Travail, il a été possible de fabriquer rapidement les pièces manquantes pour les deux côtés des Tirfors et pour remettre un manche sur l'un des Tirfors.

Un système d'étalement fait d'échafaudage a été mis en place qui reprenait les charges de l'étage afin d'en diminuer le poids pour le déplacement. Il y avait aussi un système des vérins au niveau du plancher qui déplaçait l'étalement à fur et à mesure avec le déplacement de l'étage.



*Emplacement de l'étalement au rez-de-chaussée*

Avant de commencer à tirer pour effectuer le déplacement, l'équipe s'est assurée que rien n'empêcherait le mouvement de la maison à l'étage, mais aussi que toutes les plaques métalliques étaient en place entre les solives et les sablières sur la façade est et que tous les Tirfors et calages étaient en place.

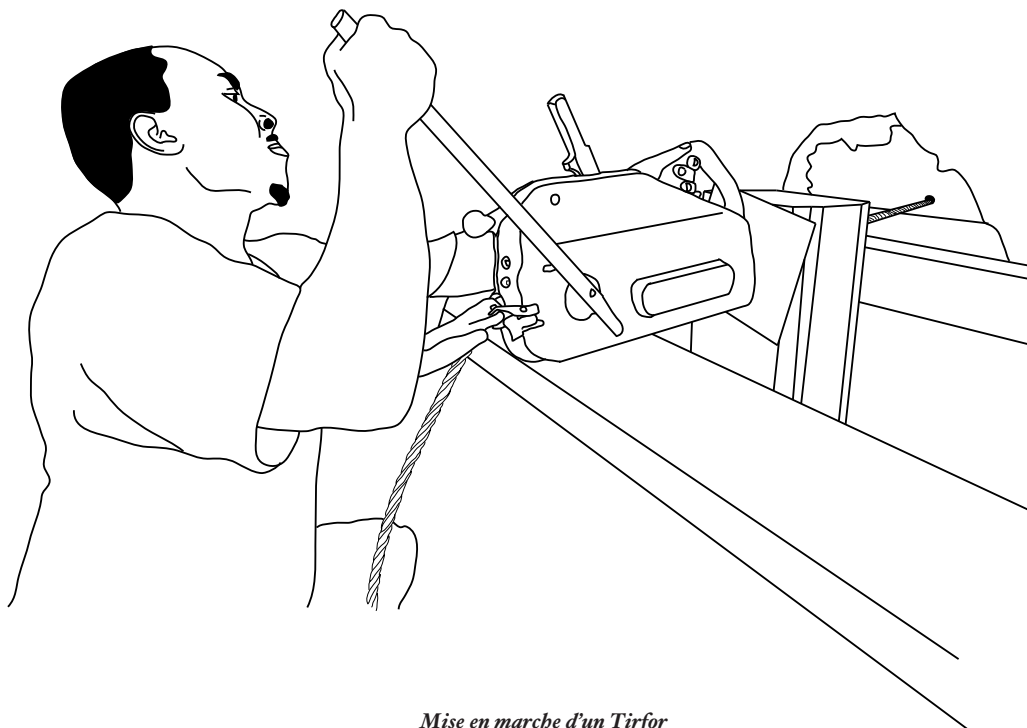


*Système des vérins mis à l'horizontale au niveau du plancher pour déplacer l'étalement*



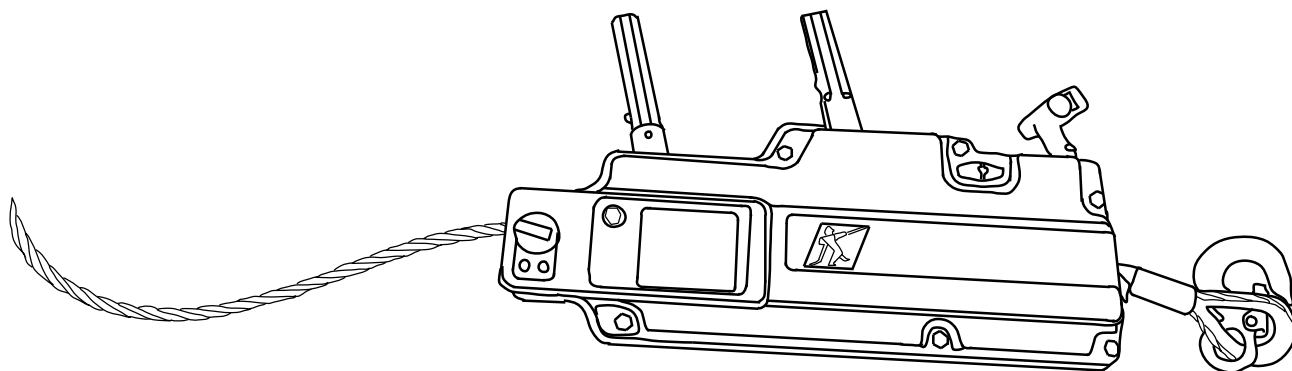
## Le déplacement

Le déplacement a duré trois jours. Durant le premier jour, Tirfors et échafaudages ont été mis sous tension et l'étage de la maison a pu être déplacé de plusieurs centimètres. Le frottement entre le premier étage et les plaques métalliques a entraîné des crissemments, signe que la maison était en train de se déplacer.



*Mise en marche d'un Tirfor*

Les jours suivants ont été plus difficiles : le matériel a commencé à lâcher, en particulier les deux Tirfors les plus récents qui étaient étalonnés pour une tonne et demi.



*Un Tirfor étalonné à une tonne et demie n'était pas suffisant.*

Alors que les câbles étaient sous tension, l'équipe ne parvenait plus à faire bouger l'étage. Quelque chose empêchait l'étage de continuer à glisser. Le système des échafaudages et vérins, mis à l'intérieur pour alléger la charge de l'étage sur les murs intérieurs, était trop serré. Leur pression sur les planchers du faux plafond bloquait l'avancement de l'étage. Les échafaudages et le système des vérins à leur base ont donc été complètement desserrés. Ensuite, on a mis de côté les Tirfors qui lâchaient, et on a continué avec les trois Tirfors les plus robustes. On a retendu les câbles, et quelques coups de masse ont permis de débloquent l'étage et de gagner quelques centimètres supplémentaires.

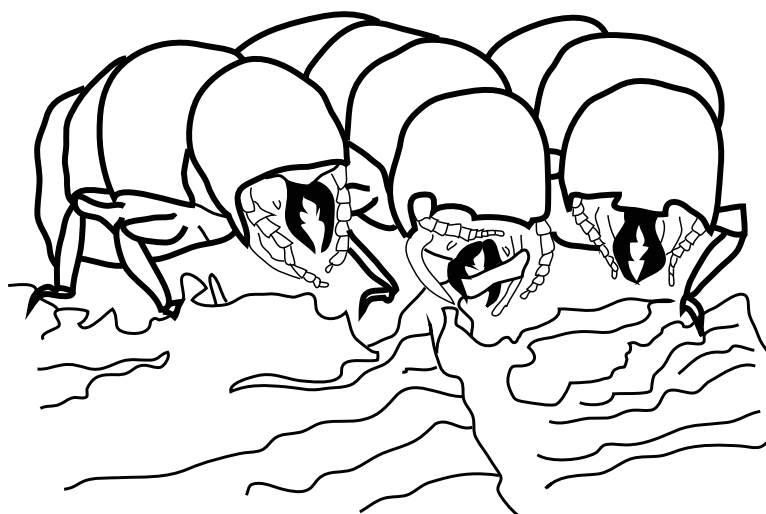


*L'étage a été débloquent avec quelques coups de masse sur les points d'ancrage de la façade ouest.*

L'équipe a constaté, après trois jours d'efforts, que son poteau témoin, dans l'angle sud-est du pan de bois du premier étage, était toujours en porte à faux par rapport à la maçonnerie du rez-de-chaussée. Or, la remise en place de la maison aurait dû permettre à ce poteau d'être parfaitement d'aplomb avec le mur en maçonnerie du rez-de-chaussée.

Ce poteau avait été remplacé lors de la restauration du pan de bois de la façade sud. En observant de plus près ce poteau, l'équipe a constaté que la sablière sur laquelle ce poteau reposait dépassait de plusieurs centimètres de la maçonnerie. Lorsque cette sablière a été remplacée, au moment de la restauration du pan de bois, le chevalement qui soutenait le premier étage n'a pas permis à l'équipe de voir avec précision comment couper la sablière. Par conséquent, le poteau d'angle du pan de bois a été installé sur l'extrémité de la sablière, en porte à faux par rapport à la maçonnerie.

La sablière qui dépassait a été recoupée, le poteau d'angle sud-est du pan de bois de l'étage a été remplacé d'aplomb sur cette sablière. L'équipe a alors constaté que la maison avait bel et bien été déplacée de 11,5 cm. L'étage avait retrouvé sa place d'origine.



# **Les termites**

Pour concevoir un plan pour protéger les maisons Gingerbread contre les agents biologiques, Anselme Dutrecq, docteur en sciences agronomiques, phytopathologiste, et formateur à l'Institut du patrimoine wallon (IPW) a animé deux formations pour les stagiaires du chantier-école de la maison Dufort. Une formation théorique en janvier 2012 et une formation pratique en juillet 2013.

Pendant leur séjour en Belgique en septembre 2013, les stagiaires ont constaté qu'il existe plusieurs agents biologiques qui attaquent les éléments d'un bâtiment en Europe, telles que la mэрule et diverses espèces d'insectes xylophages qui mangent le bois. Cependant lors de son séjour en Haïti, A. Dutrecq a constaté qu'en Haïti, les champignons posent très peu de problèmes et qu'il n'y a en pratique qu'un seul insecte xylophage contre lequel il faut se prémunir : le termite.

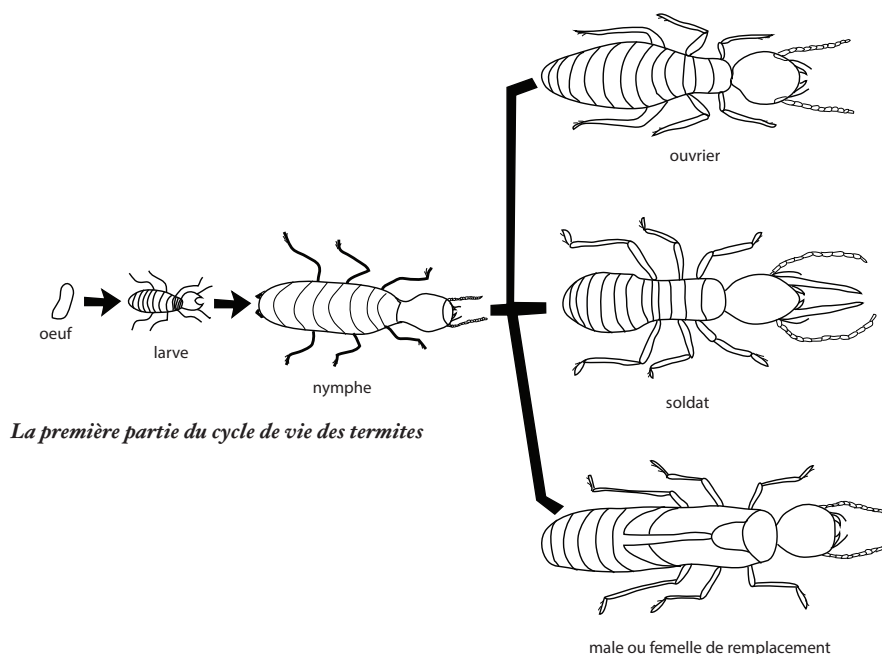
Pendant la formation à la Maison Peabody en juillet 2013, les stagiaires ont découvert beaucoup de dégâts faits par les termites ainsi que quelques nids actifs. Ensuite, des dégâts de termites ont été repérés dans le soubassement et dans le bois de colombage du premier étage de la Maison Dufort.

Les termites sont une menace permanente pour les bâtiments en bois, il faut être prudent et vigilant afin de pouvoir correctement protéger la construction.

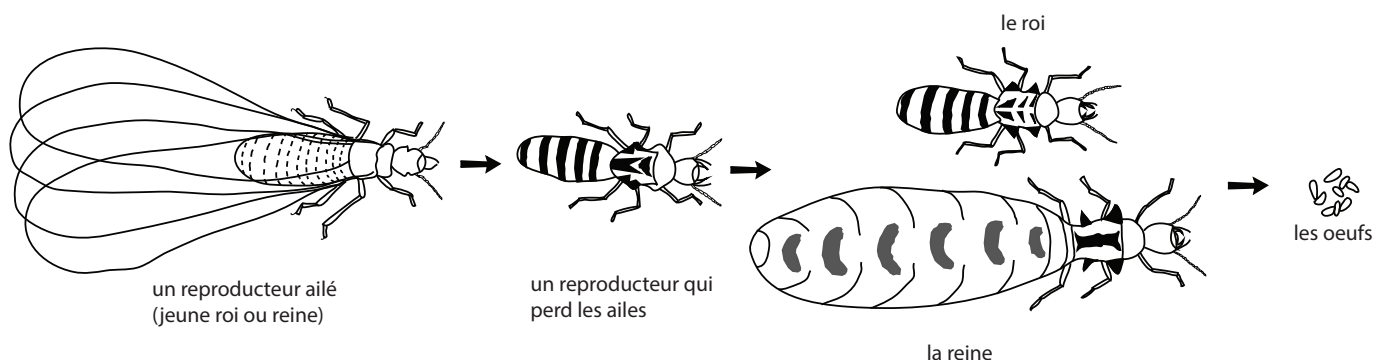
## Le caractère et les habitudes des termites

Depuis leur origine, il y a au moins 145 millions d'années, les termites se sont développés et il existe actuellement plus de 3,000 espèces, partout dans le monde, entre le Canada au nord et l'Australie au sud. Comme les fourmis ou les abeilles, les termites sont des insectes sociaux qui vivent dans des colonies hiérarchisées. C'est dans les régions chaudes et humides que l'on trouve la plus grande concentration et la plus grande diversité de termites. En Haïti, les termites jouent un rôle fondamental dans l'écosystème : ces insectes xylophages sont des décomposeurs de bois mort, une étape importante dans le recyclage des nutriments de la forêt. Cependant, dans le domaine de la restauration, quand les termites s'attaquent aux pans de bois d'une maison ou à la charpente, ils deviennent une menace.

Sur l'île d'Hispaniola, il y a plusieurs espèces de termites qui peuvent causer des dégâts importants dans le bâti et en agriculture. Pour mieux le combattre, il faut comprendre le cycle de vie des termites. Après l'éclosion des œufs, les larves deviennent des nymphes. Ensuite, ils se répartissent en trois castes différentes : les ouvriers, les soldats, les mâles et femelles de remplacement.



Les trois castes ont une apparence physique différente, et chaque caste joue un rôle spécialisé dans la hiérarchie de la colonie. Les ouvriers ont pour tâche de rechercher la nourriture, ils digèrent et donnent à manger aux autres termites dans le nid, ils creusent et nettoient les galeries du nid, et ils recueillent les œufs pondus par la reine. Ce sont eux qui mangent le bois et qui font les dégâts dans les bâtiments. Les soldats défendent le nid. Ils ont une tête plus grosse qui est munie de grandes mâchoires puissantes. Quand les fourmis attaquent un nid de termites, les soldats bloquent les galeries et restent en place jusqu'à l'issue de l'attaque. Lors de l'essaimage, des mâles et des femelles de remplacement se forment dans la colonie, ils deviennent les reproducteurs ailés et quittent le nid pour un voyage de colonisation.

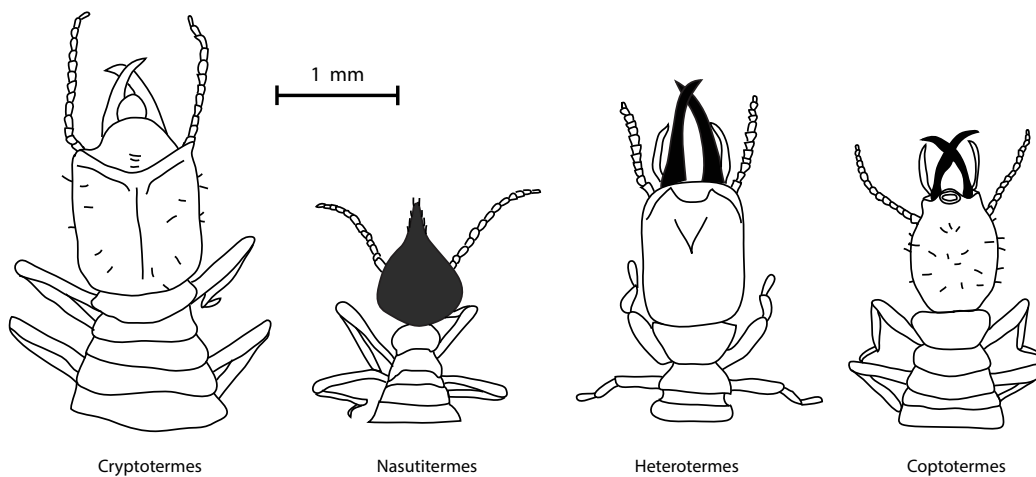


*La deuxième partie du cycle de vie des termites*

Dès qu'ils trouvent un endroit approprié, ils perdent leurs ailes et achèvent leur maturité sexuelle pour se différencier en reine et roi. Ensuite, la reine pond les œufs pour peupler le nouveau nid et le cycle recommence. Pour donner une idée de l'échelle impressionnante de cette famille, une reine peut pondre un œuf chaque trois secondes pendant plus de quinze ans. C'est-à-dire qu'elle peut produire environ 157,680,000 termites pendant sa vie.

Sur la base de ses expériences à Cuba et au Sénégal, Anselme Dutrecq suggère qu'il y a quatre variétés de termites différentes en Haïti qui peuvent poser problème dans le contexte urbain : les familles *Cryptotermes*, *Nasutitermes* sp., *Heterotermes*, et *Coptotermes*. Chaque variété a des habitudes différentes. Les *Cryptotermes* sont des termites dits de bois sec. Ils préfèrent les conditions sèches et mangent du bois sec, c'est-à-dire qu'ils s'installent dans des bois qui s'humidifient par le contact avec de l'air humide. Les dégâts causés par les termites de bois sec se distinguent par la présence de nombreuses déjections (petits tonnelets) à l'intérieur des bois dégradés. Les autres termites aiment l'humidité. Les *Nasutitermes* font leurs nids dans les arbres et se trouvent à l'extérieur des maisons mais ils peuvent parfois se trouver à l'intérieur lorsque les maisons subissent de très importantes infiltrations d'eau (locaux très humides).

Les *Heterotermes* et les *Coptotermes* sont des termites souterrains, ils ont besoin de l'humidité de la terre pour survivre. Parfois, les *Coptotermes* font des nids secondaires à l'intérieur même des maisons, aux endroits où les bois sont soumis à des infiltrations d'eau. Ils tentent de se relier à un nid primaire souterrain. Les *Heterotermes*, par contre, sont des termites strictement souterrains. Les termites souterrains explorent les maisons présentant de l'humidité afin de se nourrir, en se déplaçant dans des galeries au sein des maçonneries ou des pans de bois et sont parfois visibles à l'extérieur par la formation de galeries à la surface des bois ou des murs. Les ouvriers de ces quatre variétés se ressemblent, par contre, les soldats se distinguent essentiellement par la forme de leur tête et de leurs mandibules.



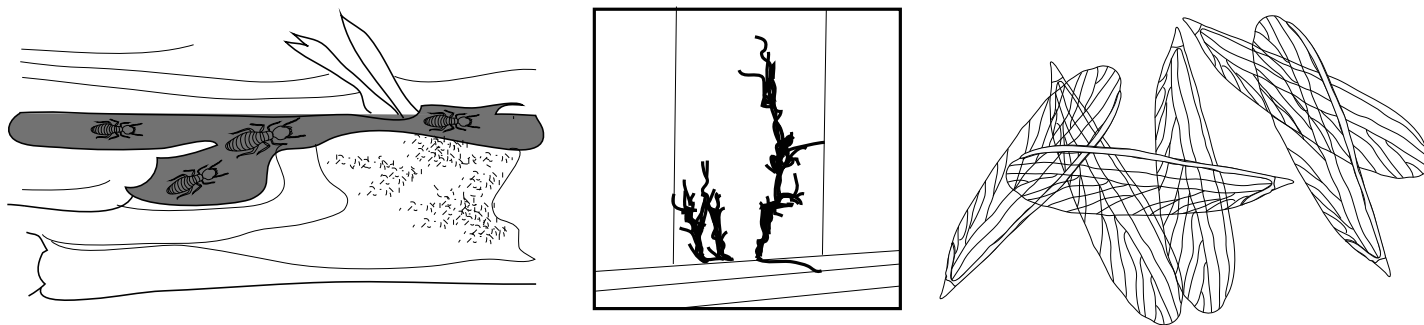
*Les têtes des soldats de quatre familles de termites qu'on trouve typiquement à Port-au-Prince*

A Port-au-Prince, Anselme Dutrecq a observé de nombreux dégâts causés par d'anciennes attaques de Cryptotermes. Il a aussi identifié d'anciens nids de Coptotermes dans les maisons Gingerbread qui avaient subies des infiltrations d'eau. Des nids actifs de Coptotermes ont aussi été trouvés dans des bois situés dans des zones humides ou en contact avec des maçonneries humides. Il n'a pas été possible d'identifier des Heterotermes durant les missions de Anselme Dutrecq néanmoins, il est probable qu'il en existe dans le quartier Gingerbread.

## Les indices de la présence des termites

Les termites ont besoin d'un endroit convenable pour leur nid, de nourriture pour la colonie (bois tendre), et souvent, d'une humidité élevée. Sur les chantiers en Haïti, les conditions favorisent la plupart du temps la présence de termites, donc il faut rester vigilant. Dans les bois humides ou dans des bois voisins de maçonneries humides, on retrouve généralement des termites souterrains tandis que les attaques de Cryptotermes (termite de bois sec) se rencontrent dans des bois qui s'humidifient par le seul contact avec l'humidité de l'air ambiant (humidité relative de l'air élevée).

Les termites sont facilement repérables pour un œil exercé. Outre le nid, trois éléments peuvent être un indice de termites actifs sur un chantier. On peut détruire partiellement les galeries visibles et observer si des termites circulent dedans ou si les termites réparent les galeries qui ont été abimées. On peut rechercher et sonder les éléments de bois touchés par les termites, pour voir s'il y a des termites dedans. Ou bien, on peut attendre l'essaimage des reproducteurs ailés qui sortent des galeries. Généralement, les termites laissent des ailes en nombre, ce qui les rend très repérables. Néanmoins, on peut craindre que de nouvelles attaques de termites surviennent, suite à ces essaimage, dès que les conditions d'humidité sont favorables à leur installation et à leur développement.



*Trois indices de la présence des termites : les termites qui circulent dans les galeries, la réparation ou l'expansion des galeries visibles, et les ailes des termites reproducteurs*

# La lutte raisonnée contre les termites

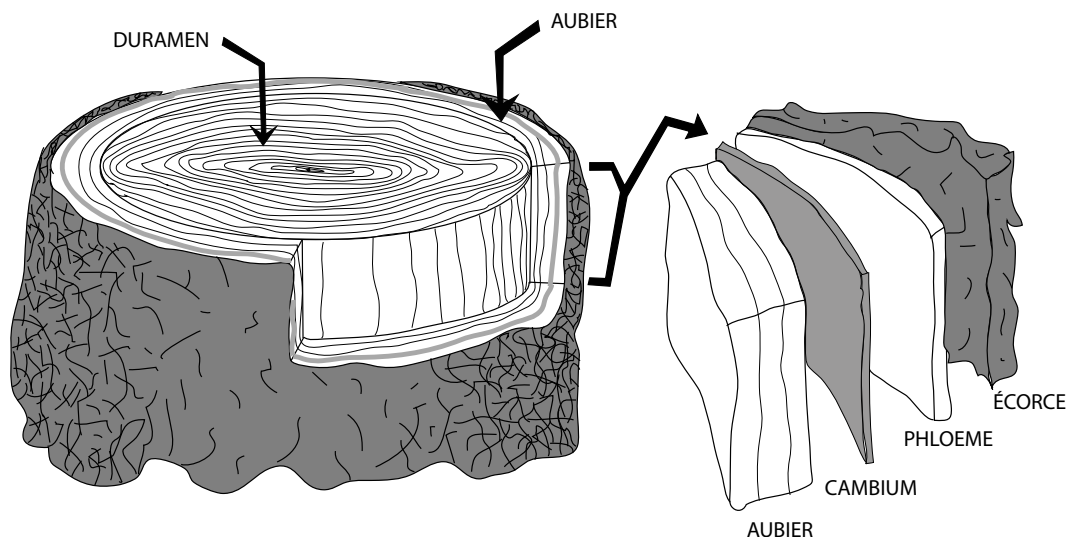
La lutte contre les termites peut être préventive ou curative. La lutte curative peut être coûteuse, il est donc judicieux de réaliser une étude préalable sur l'importance de l'infestation en localisant les foyers de termites et en recherchant les causes qui provoquent ces attaques. Dès la mise en évidence d'une infestation par les termites, il faut remédier aux infiltrations d'eau qui la provoquent, en facilitant les assèchements des zones humides par des ventilations adéquates et appliquant des insecticides.

Dans cette fiche, on se concentrera sur la lutte préventive qui commence par le choix du type de bois employé sur le chantier. Certains bois d'œuvre acquièrent, lors de la croissance des arbres, des systèmes de résistance naturelle qui les protègent contre les termites.

À l'extérieur du bois vivant, il y a l'écorce, le revêtement du tronc qui est le premier lien de défense. Sous l'écorce, il y a le phloème, qui transporte la sève. Les termites arboricoles peuvent se nourrir de cette sève et empêcher les plaies de se refermer. Les autres termites (Cryptotermes, Coptotermes et Heterotermes) n'ont pas cette faculté et ne s'attaquent qu'au bois mort (racines mortes, tas de bois, bois d'œuvre).

Le cambium est une couche de cellules qui divisent et produisent des nouvelles couches de bois. C'est l'activité saisonnière du cambium qui produit les cernes, appelés aussi « anneaux de croissance ». Sous le cambium, il y a l'aubier, c'est-à-dire le bois le plus récemment formé qui est constitué de cellules vivantes.

En général, l'aubier est le bois le plus sensible aux attaques des termites car il contient une concentration importante de nutriments. Au centre, se situe le duramen qu'on appelle le « bois de cœur ». C'est le bois plus anciennement formé, et toutes les cellules du duramen sont mortes. Dans le bois d'œuvre, il existe des différences importantes entre le bois durable et le bois non-durable. Dans le cas du bois durable, le duramen est bien différencié de l'aubier. Il se distingue de l'aubier par sa densité, sa couleur et d'autres propriétés physiques et chimiques. Le bois du duramen possède une durabilité naturelle donnée par l'accumulation des substances toxiques dans les parois cellulaires. Par contre, dans le cas du bois non-durable, le duramen n'est pas différencié de l'aubier, et reste aussi sensible aux attaques des insectes. Par ailleurs, il existe plusieurs espèces de bois en Haïti qui ont un duramen naturel qui résiste chimiquement et physiquement aux attaques des termites : Bwa soumi (*Cordia alliodora*), Sèd (*Cedrela odorata*), Piyon (*Gliricidia sepium*).

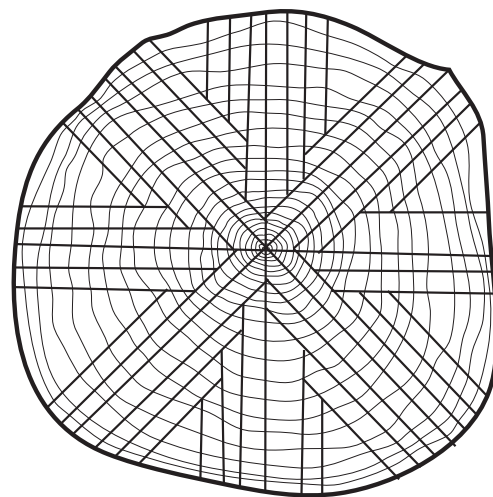


*Différentes strates d'un arbre vivant*



La grande majorité du bois qu'on trouve sur un chantier de construction est constitué de bois durable, c'est-à-dire qui a une résistance naturelle aux attaques de termites. À la scierie, on coupe le tronc d'un arbre de façon radiale pour profiter au maximum de la durabilité du bois de cœur. Même si plusieurs espèces d'arbres locaux résistent aux attaques des termites, on ne les utilise pratiquement plus dans la construction car, en raison de la déforestation, très peu d'arbres de ces espèces ont atteint une maturité suffisante pour être utilisés en construction.

Au lieu de bois locaux, on importe du bois d'Amérique du Nord, généralement du bois de conifères. Sans traitement, ces bois sont généralement très vulnérables aux termites. Certains traitements physiques et chimiques donnent à ces bois une durabilité dite « conférée », ce qui signifie qu'elle n'est pas naturelle. Tant pour la durabilité naturelle que la durabilité conférée, la résistance aux termites est progressivement perdue lorsque ces bois sont soumis régulièrement à des infiltrations d'eau.



*Découpe d'un tronc d'arbre d'un façon radiale*

La première disposition à prendre pour lutter efficacement contre les termites est de garder le bois sec autant que possible. C'est-à-dire de vérifier qu'il n'y a pas d'humidité qui monte de la fondation, et qu'il n'y a pas d'humidité qui pénètre par le toit ou par les enduits. On veillera donc à remédier à toute infiltration d'eau en asséchant rapidement les zones touchées.

Le deuxième aspect de la lutte préventive consiste à prendre des précautions au niveau des nouvelles constructions pour les préserver d'attaques ultérieures par les termites. Il faut essayer de priver les termites de leurs besoins basiques, la nourriture et l'humidité. On utilisera de préférence des bois naturellement résistants aux termites ou des bois qui auront été traités préalablement à l'aide d'insecticide. On veillera par la suite à ce que le bâtiment soit toujours bien ventilé, notamment en saison de pluies.

Il existe également des barrières physiques et des barrières physico-chimiques qu'on peut implanter dans la fondation d'un bâtiment. Tous ces systèmes coutent cher et ils ne sont pas toujours disponibles sur le marché local. Il vaut donc mieux apprendre à reconnaître les éléments qui favorisent la présence de termites et y remédier.

Avant qu'ils puissent s'attaquer à une maison, les termites ont souvent une autre source de nourriture : racines d'arbres morts, tas de bois, vieux bois tombé. Donc, autant que possible, il vaut mieux éviter de laisser pousser des arbres trop près d'un édifice, il faut déplacer les tas de bois loin des fondations et faire brûler le bois tombé des arbres.

Pour améliorer les conditions d'une fondation existant, il est souhaitable d'insérer une barrière d'étanchéité, ou « bouclier, » entre la fondation et les autres éléments du rez-de-chaussée, comme les solives et les panneaux du plancher. De plus, il est préférable de ventiler le soubassement pour le rendre moins humide et moins favorable à la progression des termites.

Le troisième aspect de la lutte préventive est la lutte chimique. Même si on ne peut pas suivre un protocole intégral mettant en jeu des insecticides (comme on la décrit dans le Référentiel de la Certification de Services CTB-A+, référentiel utilisé par A. Dutrecq), on peut traiter le bois avec un protocole local, ciblant le bois qui a déjà été attaqué par les termites.



Anselme Dutrecq a indiqué que l'utilisation à la lettre de ce référentiel n'est pas nécessaire, notamment pour les traitements insecticides des sols autour de la maison (risque de pollution des sols et des eaux souterraines par les produits utilisés). On veillera cependant à effectuer des barrières chimiques horizontales dans les murs sous les solives infestées ainsi dans les extrémités des solives qui sont encastrées ou posées sur les maçonneries. Les solives attaquées ou dégradées par les termites seront traitées avec de l'insecticide par injection. Les solives saines seront simplement traitées superficiellement, après l'enlèvement des peintures qui les recouvrent.

Anselme Dutrecq a précisé que la meilleure méthode de lutte contre les termites est de veiller à éviter que l'humidité rentre dans les maisons et à bien ventiler les pièces des maisons lors de la saison des pluies ou en période de forte humidité relative de l'air, surtout au moment de l'essaimage des termites.

Pendant le chantier-école, deux produits insecticides ont été utilisés pour protéger la maison Dufort : le Fenvalerat 20E 250M et le Timbor 98WP. Lors de l'achat de produits chimiques, il est indispensable de lire le mode d'emploi et de demander au vendeur la fiche de données de sécurité du produit. Ces documents doivent être consultés avant l'utilisation des produits. D'une manière générale, il faut éviter d'aspirer, avaler, ou toucher le produit, et il faut porter des gants et masques, et des lunettes de sureté pendant l'application.



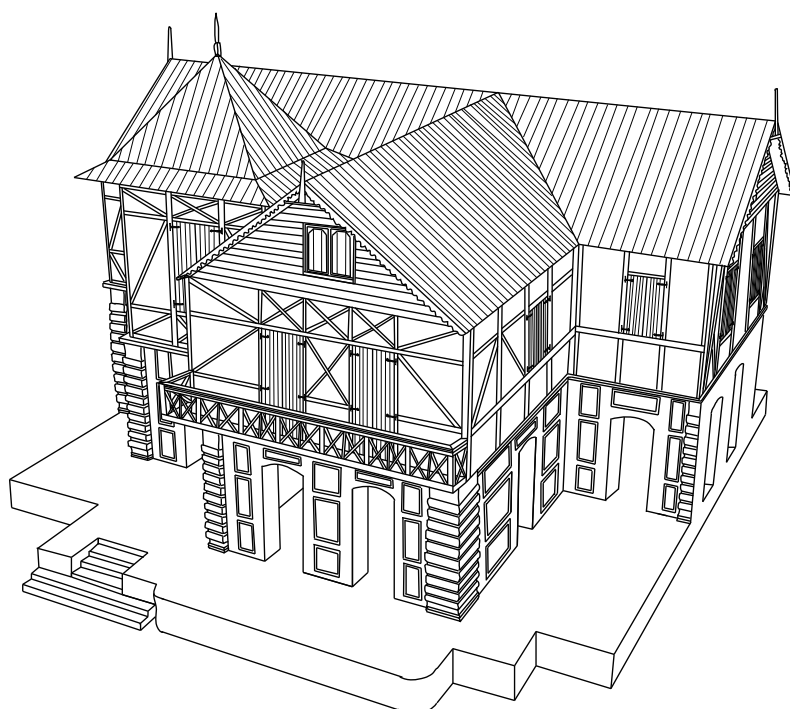
*Application des produits insecticides dans les tranchées  
avant de couler du béton pour la fondation*



*Application des produits insecticides sur un morceau de bois  
avant de l'utiliser pour les réparations*

Dans le chantier école de la maison Dufort, lorsque des termites actifs ont été identifiés, le bois a été aspergé avec du Fenvalerat 20E 250M, un insecticide qui paralyse le système nerveux des insectes et les tue rapidement. Pour les traitements préventifs, on a utilisé du Timbor 98WP. Le Timbor est un sel de borate qui peut pénétrer dans un membre de bois pour le protéger contre les attaques de termites. Avant d'installer de nouveaux bois ou de faire une greffe, les bois ont été aspergés avec du Timbor. Du Timbor a également été répandu dans le fond des fouilles, avant de couler le béton de la poutre de fondation.





# **La restauration du pan de bois**

La maison Dufort comprend un rez-de-chaussée en brique et un étage en pan de bois. Ces éléments structuraux se retrouvent donc dans de nombreuses maisons Gingerbread.

La maçonnerie de briques du rez-de-chaussée a été très fortement abîmée par le séisme du 12 janvier 2010. Les pans de bois et les remplissages du premier étage sont restés intacts : le pan de bois a oscillé avec les secousses puis repris sa forme initiale. Les dommages sur le pan de bois sont antérieurs au tremblement de terre. Ils sont liés aux infiltrations d'eau et aux attaques de termites. La charpente exposée aux intempéries était plus abîmée que le bardage intérieur et la charpente de la toiture.

Marcel Osvald, maître charpentier et formateur de l'Institut du patrimoine wallon, a réalisé la formation pour la restauration du pan de bois. Il a insisté sur la qualité du bois. L'ancienne ossature de bois était en pitchpin : la restauration a été réalisée avec du bois de pin, importé des Etats-Unis. Les pièces livrées étaient parfois tordues : il est essentiel, dans les commandes de bois, de choisir soi-même les pièces.

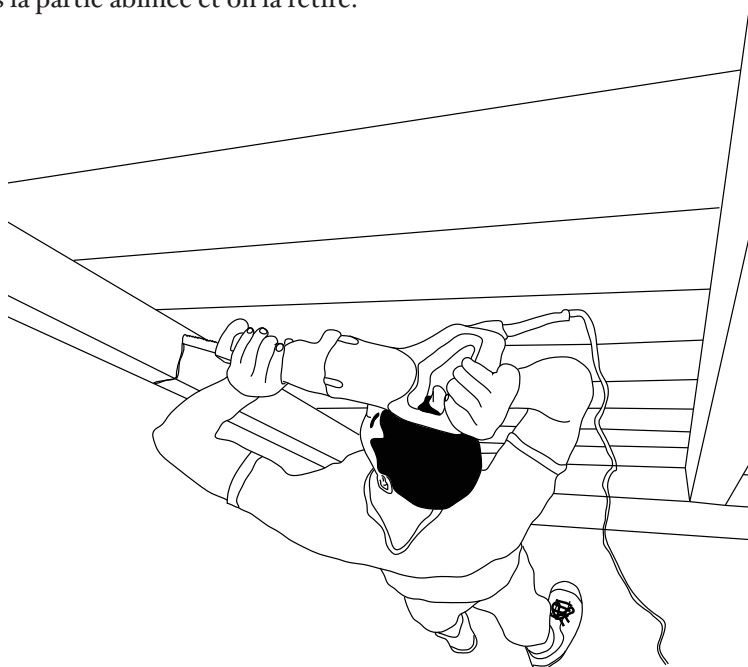
Une fois l'échafaudage installé, les panneaux de remplissage d'origine ont été démontés, ainsi que les auvents surmontant les fenêtres afin de pouvoir travailler sur l'ensemble de chaque pan de bois. Chaque morceau de charpente a été examiné avec un marteau : on frappe des coups de marteau sur les bois pour trouver les points faibles. Les constats ont été notés sur les relevés des murs. Lorsqu'un élément de pan de bois est abîmé par l'humidité ou les termites, on peut soit réaliser une greffe, soit remplacer l'intégralité de la pièce. L'équipe au travail à la maison Dufort a cherché à conserver le plus de bois possible, néanmoins, beaucoup de pièces avaient déjà été remplacées lors de travaux antérieurs.



*Chaque morceau de charpente a été examiné avec un marteau*

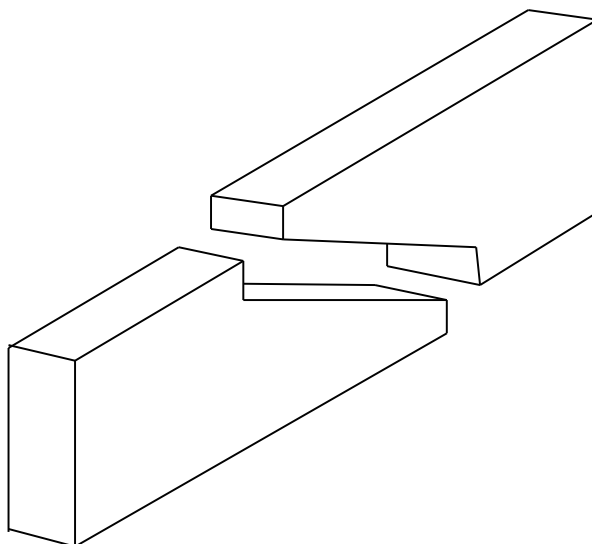
## Préparation d'une greffe

On choisit de réaliser une greffe lorsqu'une partie seulement de la pièce de bois est abîmée, et que le reste de la pièce est intact. On coupe alors la partie abîmée et on la retire.



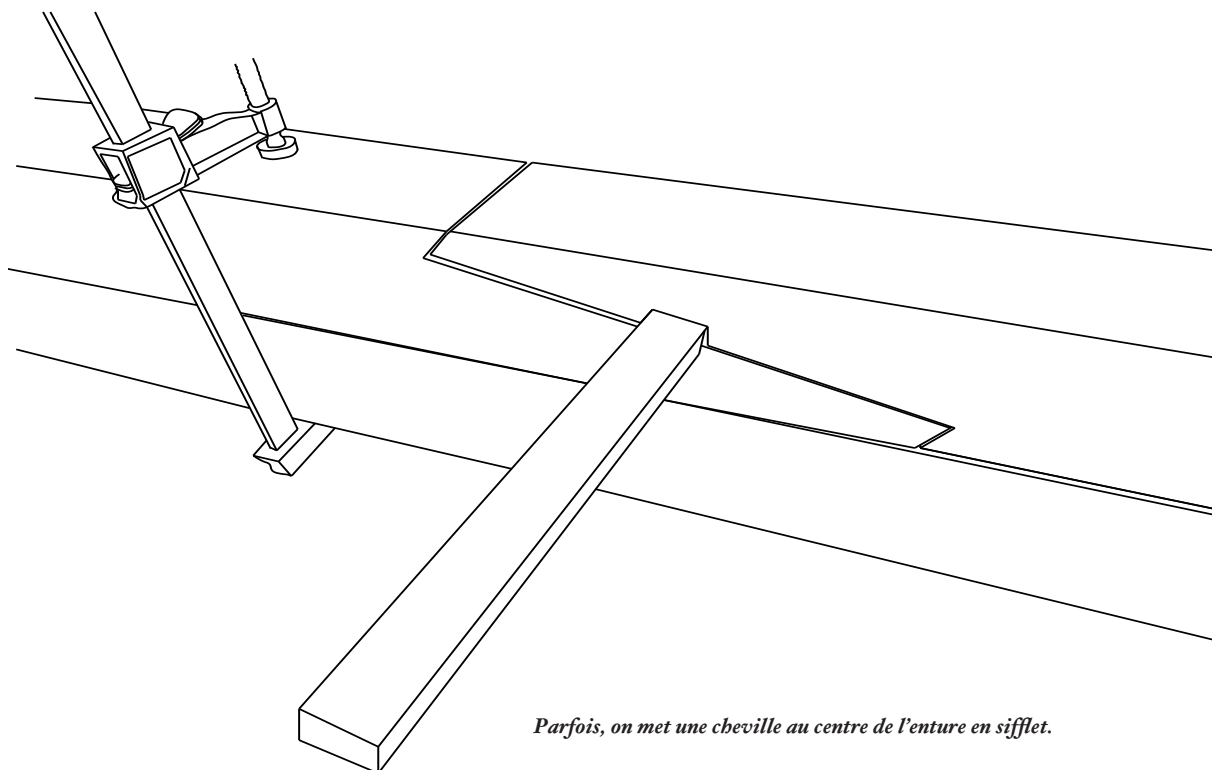
*On coupe la partie de la pièce de bois qui est abîmée.*

Ensuite, on travaille la pièce de bois restante pour qu'elle puisse recevoir la greffe.

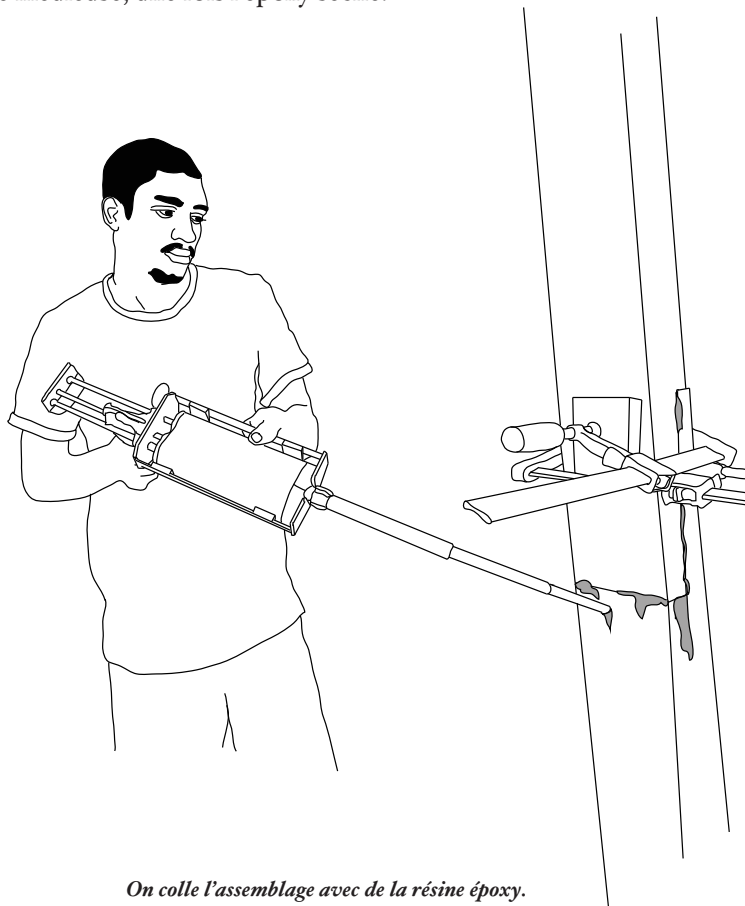


*On réalise le plus souvent des entures en sifflet, cette technique permet d'assembler deux pièces de bois suivant cette forme.*

Avant de réaliser la découpe dans le bois en place, on trace la découpe à réaliser avec un gabarit. Si possible, on démonte ensuite la pièce de bois afin de réaliser la greffe plus facilement, sinon, on réalise la greffe en place. Il est parfois préférable de mettre une cheville au centre de l'enture en sifflet pour garantir la solidité de l'assemblage.



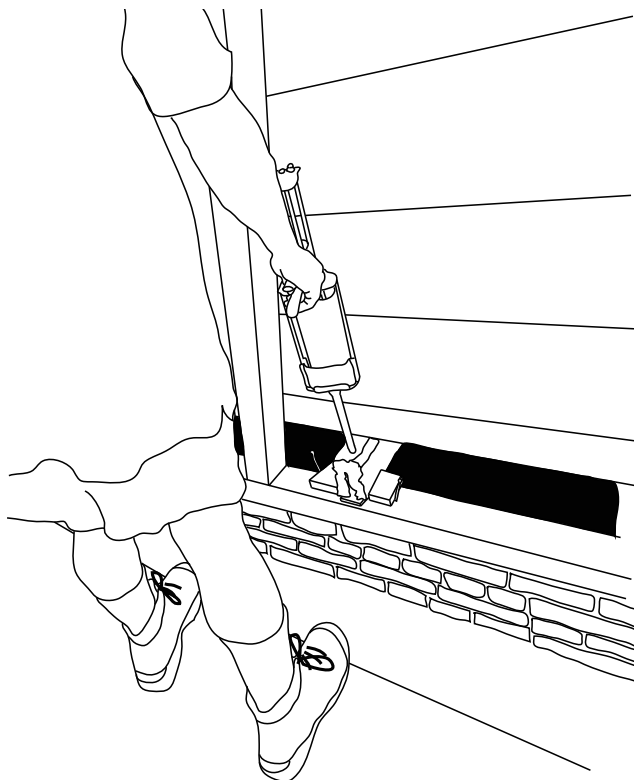
On colle ensuite l'assemblage avec de la résine époxy (ou époxyde). La résine est constituée de deux composants mélangés. Pendant dix minutes, il est nécessaire de maintenir les bois en place avec des serre-joints, puis l'époxy se solidifie. Après trois à quatre heures, l'assemblage peut recevoir une charge. Il faut ensuite nettoyer les pièces de bois des coulures d'époxy avec une meuleuse, une fois l'époxy séché.



## Application de la résine *epoxy*

L'utilisation de la résine *époxy* en restauration patrimoniale s'est répandue depuis les années 1970. Marcel Osvald fut ainsi le premier charpentier restaurateur à obtenir un brevet pour l'utilisation de l'*époxy* sur des chantiers de restauration en Belgique. D'après lui, l'un des avantages de l'*époxy* est qu'il s'agit d'un matériau polyvalent. Ainsi, une pièce de bois pourrie peut être consolidée en y injectant de la résine *epoxy* pour combler les vides.

Les extrémités des solives en façade étaient très abîmées par les intempéries et les termites, mais les solives demeuraient en bon état général. Il était donc nécessaire de consolider ces solives. Après consultation de Steve Kelley, ingénieur, il a été décidé de réaliser des coffrages à l'extrémité des solives, d'y percer un trou vertical pour y injecter de l'*époxy*. Les solives ont ainsi été renforcées sans être remplacées.

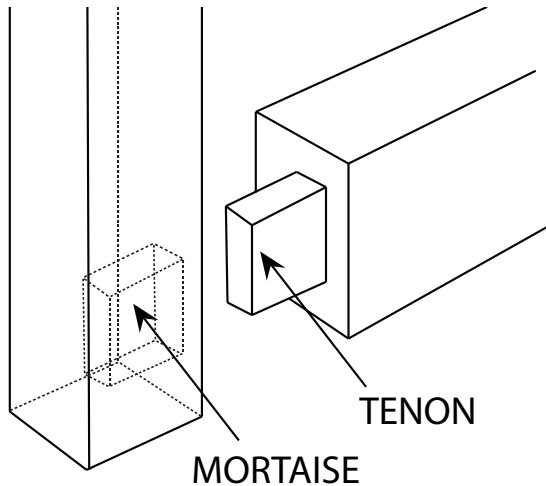


*Renforcement des solives avec l'injection de la résine epoxy*

La résine époxy utilisée à la maison Dufort était l'UltraBond HS 200, produite par Adhesives Technology Corporation en Floride et disponible dans les quincailleries de Port-au-Prince. UltraBond HS 200 est une résine époxy structurelle qui convient à la restauration et la consolidation du bois, mais il existe d'autres types d'époxy qui peuvent être utilisés pour ces mêmes types de travaux. Il faut choisir des résines époxy avec un haut module d'élasticité, c'est-à-dire qui deviennent très dures, et une haute résistance à la traction à court et long termes. Par exemple, UltraBond HS 200 peut résister à 218 200 psi de compression et 7 330 psi de traction à 24° C.

# L'assemblage bois à tenon et mortaise

La plupart des pans de bois de la maison Dufort étaient assemblés suivant la technique du tenon et de la mortaise. Néanmoins, certains pans de bois avaient été restaurés et simplement cloués. Il est préférable d'utiliser la technique tenon-mortaise car les clous peuvent rouiller. Aussi, les assemblages en tenon-mortaise ont été privilégiés à la maison Dufort. Il s'agit de la technique la plus répandue pour les pans de bois des Gingerbread.

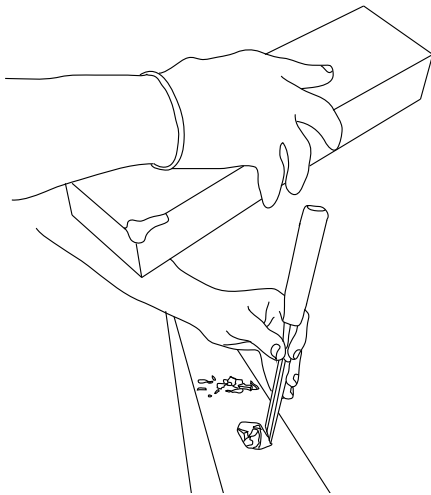


*Un assemblage à tenon-mortaise*



*On peut commencer l'ouverture d'une mortaise avec une foreuse.*

Pour réaliser une mortaise, on trace l'ouverture sur le bois. Les dimensions dépendent des dimensions de la pièce de bois. En général, la hauteur de l'ouverture (mortaise) est égale à deux tiers de la hauteur de la pièce (tenon) avec laquelle on l'assemble, et la largeur d'un tiers de la pièce de bois qui contient la mortaise. La profondeur peut-être très importante, jusqu'à traverser la pièce de bois (mortaise transversale), mais généralement la profondeur est de la moitié de l'épaisseur du bois. L'ouverture peut être réalisée avec une foreuse et une mèche à bois.



*Travail avec un ciseau à bois pour raffiner une mortaise*



*Travail avec un ciseau à bois pour décaper le tenon peu à peu*

Après avoir creusé à la foreuse et la mèche, le travail est fini avec des outils plus fins, comme un ciseau à bois, pour donner à la mortaise sa forme finale.

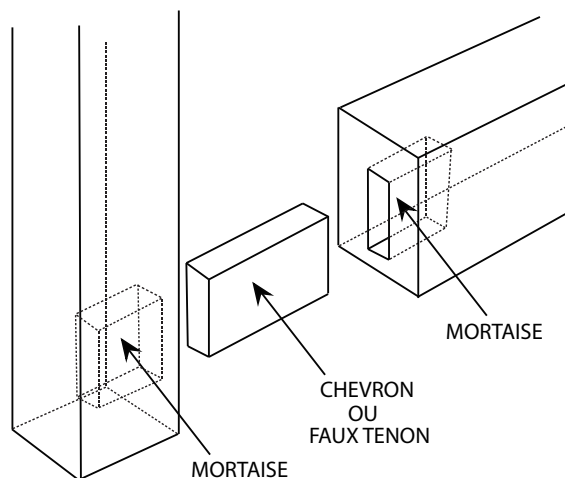
On procède de même pour fabriquer le tenon. Le tenon a les mêmes dimensions que la mortaise, à quelques millimètres près : il est très légèrement plus petit pour pouvoir s'assembler avec la mortaise. Il est plus aisé de commencer par réaliser la mortaise, puis de décaper le tenon peu à peu jusqu'à ce qu'il rentre dans la mortaise.



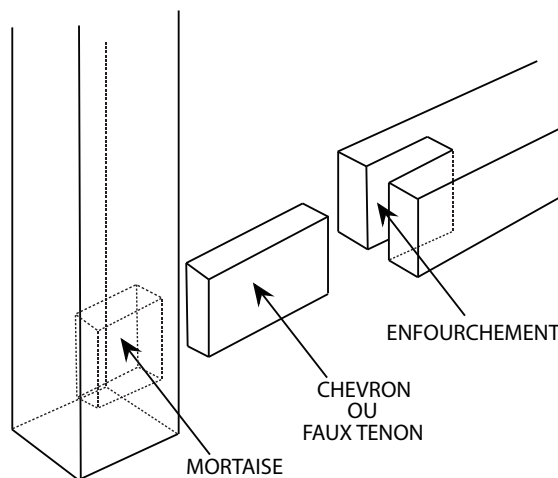
## Préparation de faux tenon

Il arrive qu'on ne puisse pas insérer un tenon dans un pan de bois. Par exemple, si toutes les pièces du pan de bois sont intactes sauf une à remplacer, il est impossible d'insérer le nouveau tenon sans démonter le pan de bois. Plutôt que de démonter le pan de bois, on réalise alors de faux tenons.

Ces « faux tenons » sont de deux types. Il peut s'agir de deux mortaises liées par un faux tenon, ou chevron, ou d'un faux tenon placé entre une mortaise et un enfourchement de bois. Ces deux procédés sont solides : le choix dépend de la dimension du bois. Il faut que la pièce de bois où se situe la mortaise soit suffisamment grande pour que la mortaise ne l'affaiblisse pas. La majorité des poteaux des pans de bois de la maison Dufort étant assez petits, on a le plus souvent utilisé des faux tenons entre les mortaises et les enfourchements de bois.

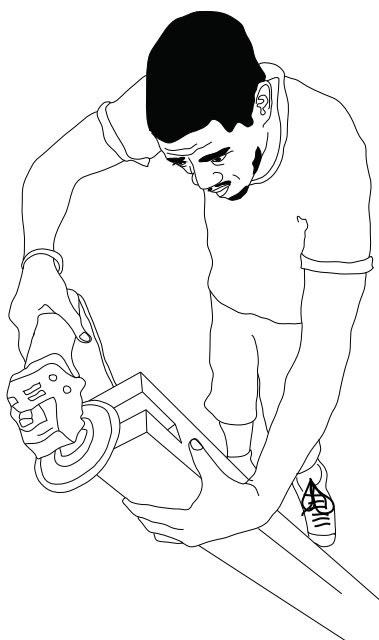


*Un assemblage à faux tenon et deux mortaises*



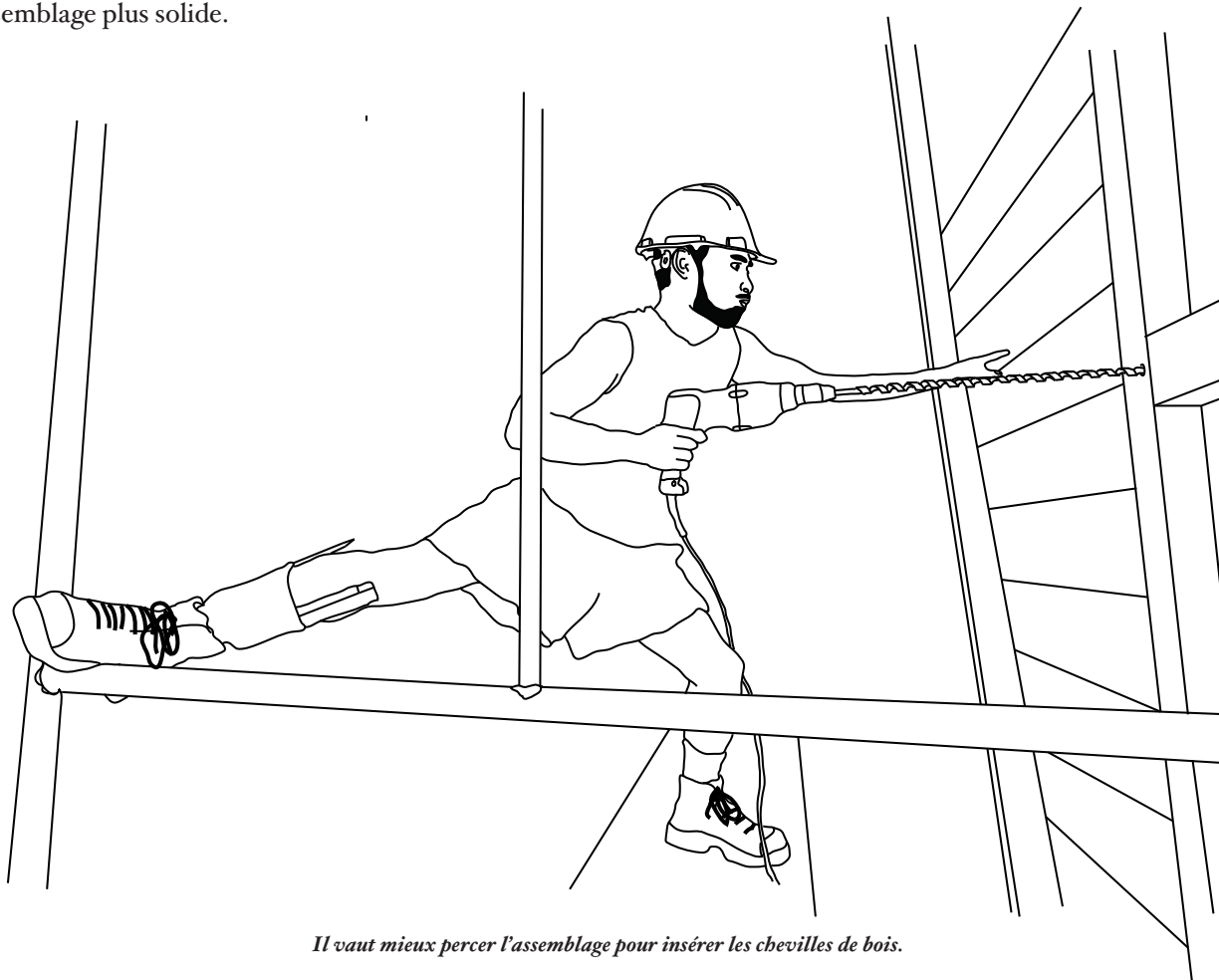
*Un assemblage à faux tenon, une mortaise, et un enfourchement*

La réalisation d'un faux tenon réclame beaucoup de finesse. S'il y a trop d'espace entre le chevron et les mortaises, ou le chevron, la mortaise et l'enfourchement, l'assemblage risque de n'être pas suffisamment cohérent et de bouger, voire de ne pas pouvoir supporter de charge. Il faut réaliser les ajustements avec une meuleuse pour s'assurer que le joint est bien serré.



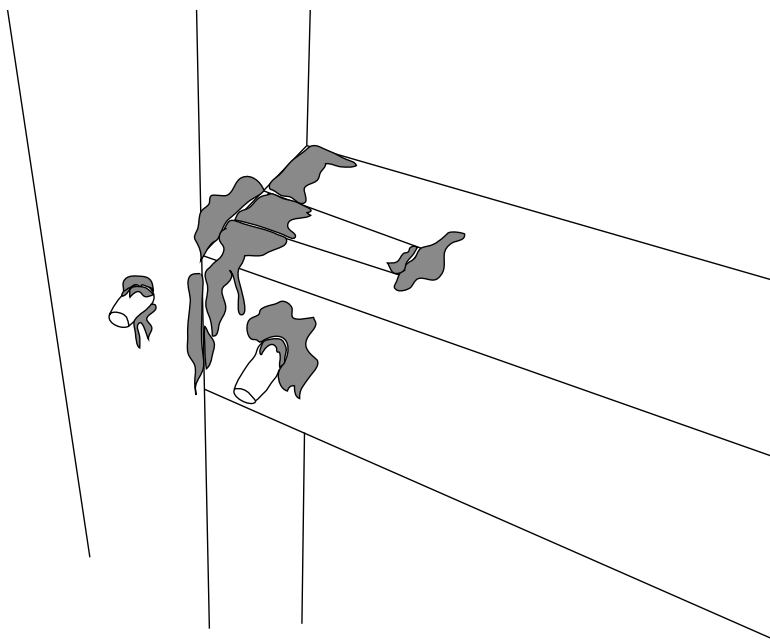
*Des ajustements peuvent être faits avec une meuleuse*

Le plus souvent, on perce la pièce de bois de la mortaise (incluant le chevron) et la pièce avec l'enfourchement (incluant le chevron), après avoir réalisé le faux tenon. On place une cheville de bois dans chaque trou pour rendre l'assemblage plus solide.



*Il vaut mieux percer l'assemblage pour insérer les chevilles de bois.*

On applique ensuite de la résine époxy pour solidifier le joint et empêcher que l'assemblage ne bouge.



*Un assemblage en place avec des chevilles de bois et de la résine époxy pour solidifier le joint*

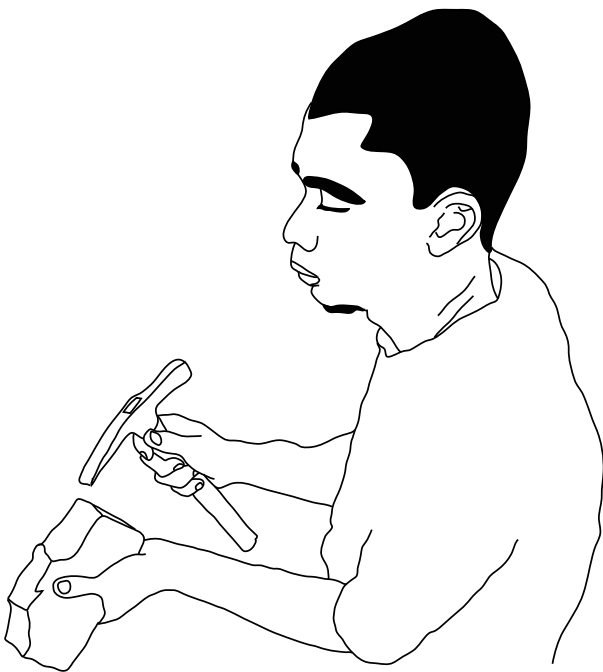
## Restauration du remplissage

Le remplissage d'origine des pans de bois était similaire au remplissage des panneaux entre les piliers de briques du rez-de-chaussée d'origine. Il s'agissait de petites pierres maçonnées à la chaux et recouvertes d'un enduit à la chaux. Si beaucoup de panneaux ont été abîmés par le tremblement de terre au rez-de-chaussée, la plupart des panneaux de l'étage sont restés intacts grâce à la flexibilité des pans de bois.

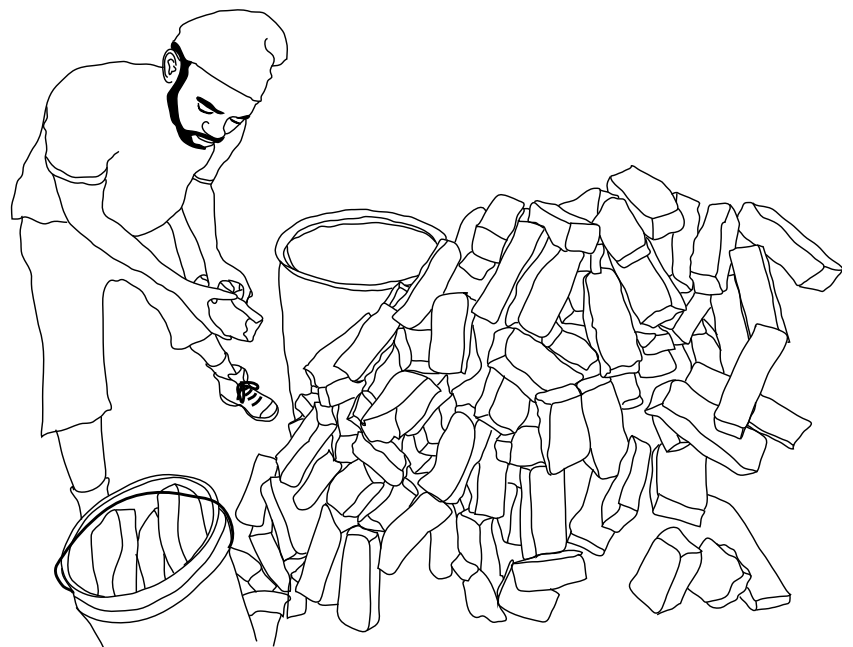
Néanmoins, la restauration des pans de bois nécessitait de vider la plupart des panneaux de remplissage, même s'ils étaient en bon état. De plus, on a souvent constaté que les pierres du remplissage d'origine s'effritent et doivent donc être remplacées.

L'équipe du chantier et les formateurs de l'Institut du patrimoine wallon ont rencontré les fournisseurs de pierres de Kenscoff afin de trouver des pierres calcaires correspondant à la taille et la qualité requises pour le remplissage. Mais il n'a pas été possible de discuter directement avec les tailleurs de pierre, or les pierres des revendeurs étaient trop grosses et trop chères. Il a donc été décidé, plutôt que de retailler ces pierres, d'utiliser le stock en surplus de briques qui avaient été achetées pour réaliser le rez-de-chaussée.

Néanmoins, les briques étaient également trop larges (quinze centimètres). Elles ont donc été découpées dans le sens des panneresses pour obtenir une largeur de 7 à 10 cm. Il faut 75 briques environ par mètre carré, il a donc fallu 10000 briques pour l'ensemble des remplissages de l'étage de la maison Dufort. Ce travail fastidieux de la découpe des briques a été confié à deux ouvriers pendant trois semaines.



*Découpage des briques*



*Trempage des briques*

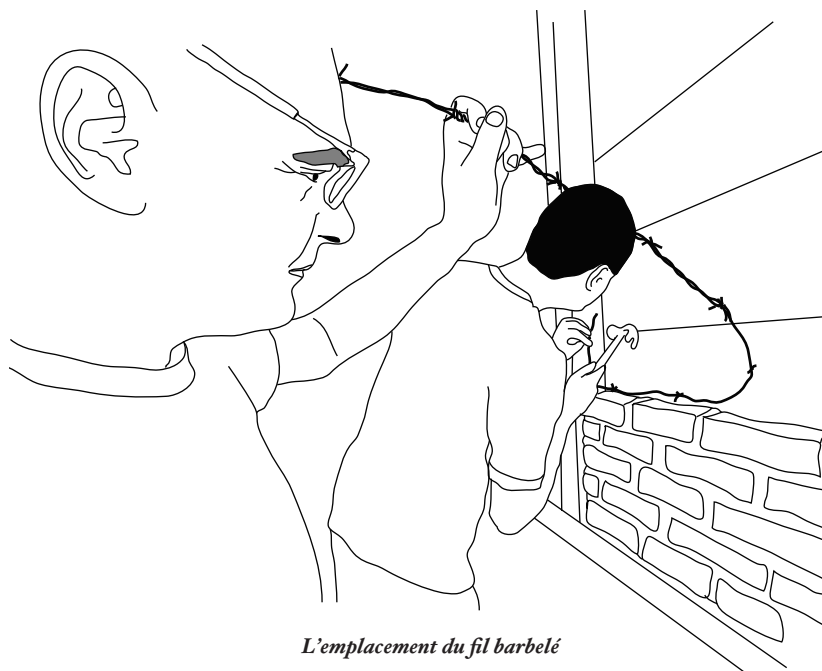
Les briques découpées ont ensuite été plongées dans des drums (55 gallons) remplis d'eau. Chaque matin, un stock de briques taillées et du mortier étaient montés sur les échafaudages pour alimenter les maçons en charge du remplissage.

Le mortier utilisé était similaire à celui de la maçonnerie du rez-de-chaussée : deux parts de sable de rivière, une part de sable calcaire, une part de chaux. Les parts sont mesurées en volume. Le mortier de la première assise est mis directement sur le bois du panneau, puis on monte les assises sans trop s'inquiéter du niveau et de l'équerrage de chaque assise.



*La mise en place des briques de remplissage*

Toutes les cinq assises, on place un fil barbelé sur les briques qu'on fixe au pan de bois avec des clous en « u ». Le fil doit être de la longueur du panneau de remplissage et avoir vingt centimètres supplémentaires de part et d'autre. Ce barbelé augmente la stabilité de la maçonnerie : il fixe les assises au pan de bois.

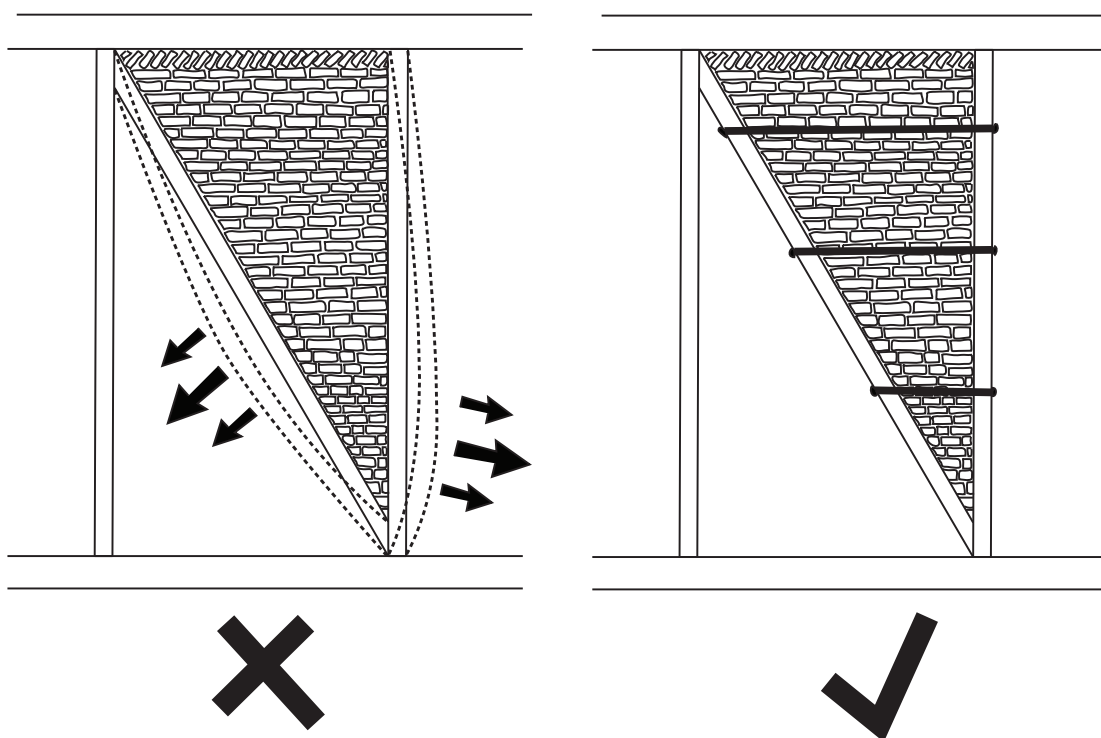


*L'emplacement du fil barbelé*

Lorsqu'on réalise le remplissage d'un panneau traversé en diagonale par un bois, la pièce de bois risque de bouger sous la charge de maçonnerie. On perce alors la pièce de bois et le poteau vertical pour passer des petits tirants d'un quart de pouce (0.63 cm) de diamètre. On les attache de part et d'autre avec des rondelles et des boulons.

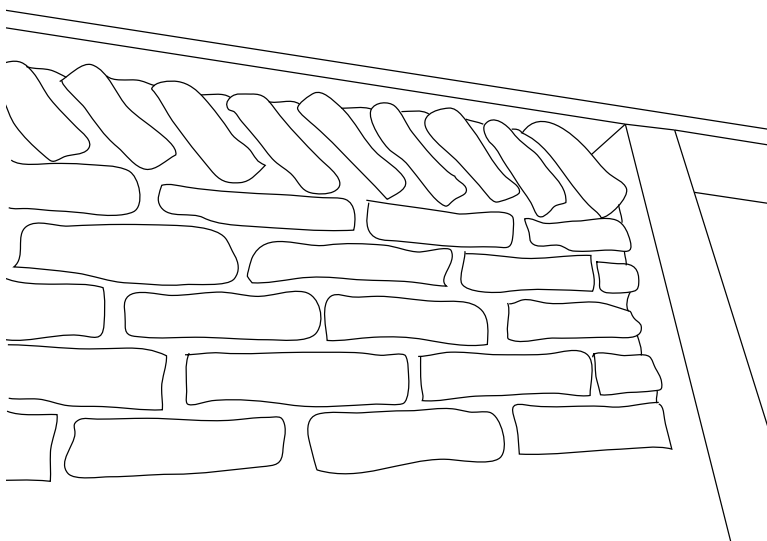


*L'insertion des petits tirants dans le remplissage*



*Les petits tirants rendent les panneaux de remplissage plus solides et empêchent la déformation du pan de bois.*

Pour faciliter la pose de la dernière assise de brique tout en haut du panneau, on place les briques en diagonale. Lorsque la maçonnerie supporte une lourde charge, il est préférable de faire plusieurs assises en diagonale. Néanmoins, pour un panneau de remplissage simple, une seule assise diagonale suffit. La maçonnerie diagonale est plus facile à réaliser car la précision dans l'espacement des dernières assises est moins importante.



*Les dernières assises sont posées en diagonale.*

L'enduit est préparé d'après le même dosage que pour les maçonneries de brique du rez-de-chaussée. On réalise trois couches d'enduit puis trois couches de badigeon à la chaux.



*Application d'enduit sur les panneaux de remplissage*



## **La remise en place de l'escalier**

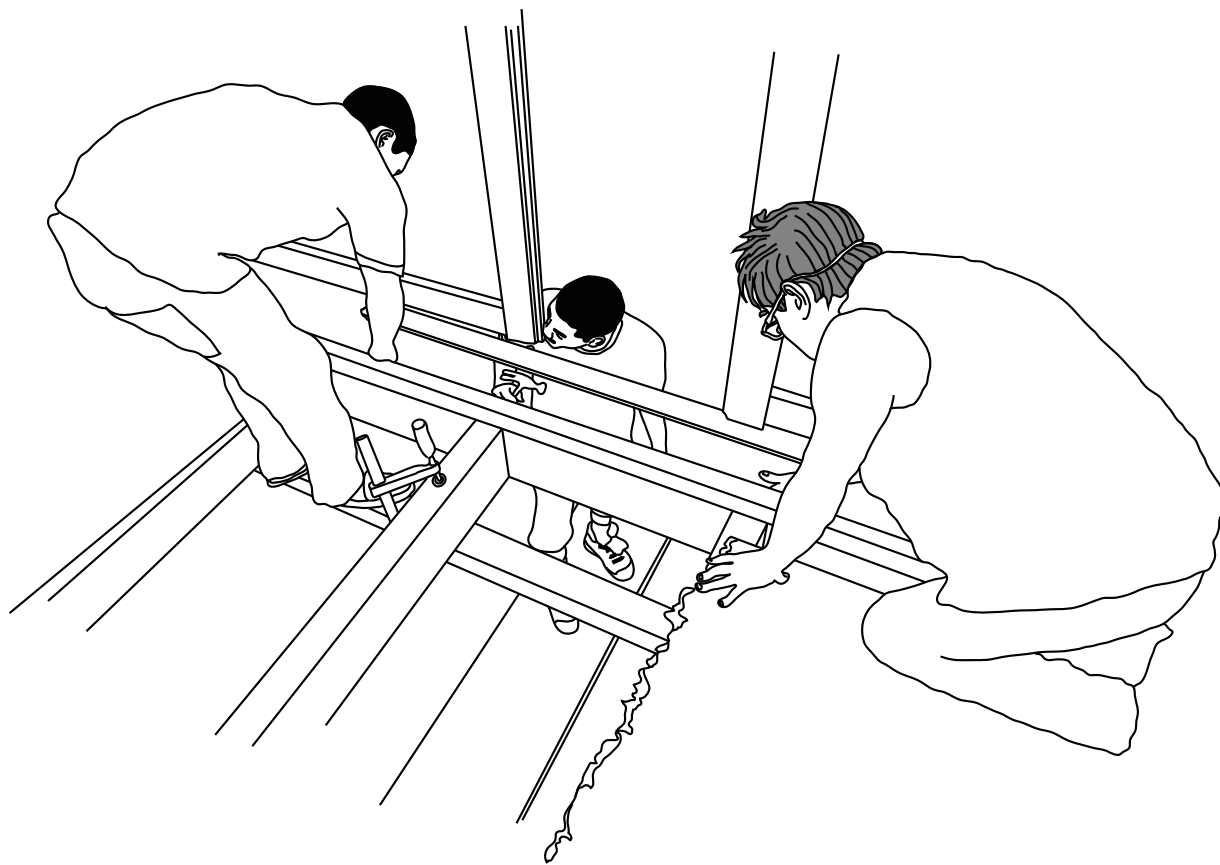
Pour la réalisation des travaux de menuiserie, FOKAL a fait appel à une équipe de jeunes menuisiers professionnels. Ces artisans avaient une formation spécialisée en menuiserie, mais sans expérience spécifique en restauration.

Les menuisiers ont eu la charge de la restauration et de l'installation des volets et portes au rez-de-chaussée, de la restauration des auvents, fenêtres et du balcon au premier étage ainsi que de l'escalier. La menuiserie étant un vaste sujet, l'ensemble de leurs travaux ne seront pas décrits dans ces pages : on traitera de préférence dans cette fiche de la restauration de l'escalier. L'escalier a été réalisé sous la supervision de Marcel Osvald, maître charpentier et formateur à l'Institut du Patrimoine wallon.

Pendant le tremblement de terre, l'escalier s'est détaché des murs en haut et en bas. Les secousses ont disjoint et abîmé des marches sur trois volées, et les balustres se sont détachés, risquant de tomber. Pendant l'installation du premier étayage, GATAPHY, une entreprise privée contractée à cet effet, a démonté la majeure partie de l'escalier pour libérer l'espace intérieur et a stocké sur le chantier les éléments de l'escalier. Après deux ans de travail pour restaurer la maison, une fois la maçonnerie remontée et le travail entamé sur les pans de bois, le temps était venu de restaurer l'escalier.

## La mise en place

Tout d'abord, une poutre a été installée pour recevoir l'escalier sur le plancher du premier étage : cinq poutres de bois de 20 cm de large sur 5 cm d'épaisseur ont été boulonnées ensemble pour faire une poutre plus solide de 20cm par 25cm.

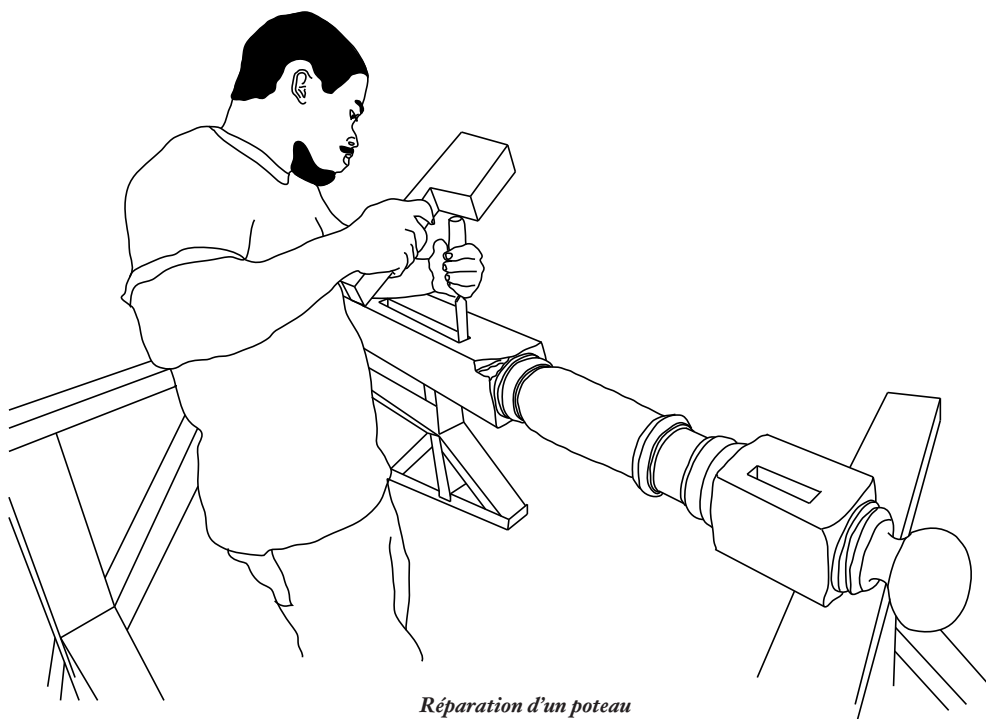


*Installation d'une poutre supplémentaire par l'équipe.*



Puis l'équipe a réalisé un inventaire des éléments de l'escalier qui avaient été stockés sur le chantier suite à son démontage. Il manquait un balustre, ainsi que la quasi-totalité des marches et contremarches.

Cependant, le bois des pièces retrouvées n'était pas toujours en bon état : certaines pièces avaient été attaquées par les termites, surtout les grands poteaux et les balustres. Ils ont été restaurés avec des greffes de bois et de l'époxy, afin d'augmenter la résistance des joints. En faisant ce travail, l'équipe a constaté qu'au moins une crémaillère n'était pas d'origine, sans doute remplacée lors d'un précédent travail de restauration, antérieur au séisme de 2010.



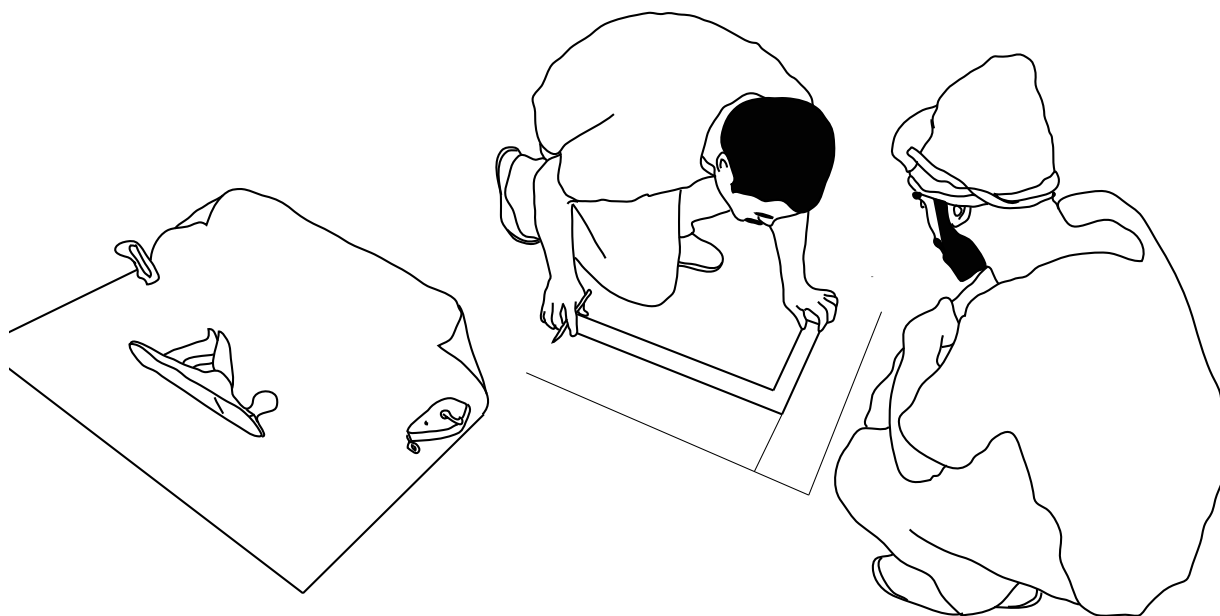
*Réparation d'un poteau*

Il a aussi fallu ajouter des éléments neufs. Ainsi, les anciennes marches avaient une épaisseur de 2,5 cm et l'équipe craignait qu'elles ne fussent pas assez solides. Aussi, il a été décidé de remplacer les marches avec des planches de 4,7 cm d'épaisseur. L'épaisseur des contremarches a été conservée telle qu'à l'origine, à savoir 2cm. Environ 35% du bois de l'escalier d'origine a pu être conservé.

Suite à ce premier inventaire, les éléments ont été assemblés en utilisant les traces sur le bois et les photos historiques. Puis, l'équipe a consulté les plans réalisés par IDCO, le bureau d'architecte qui a travaillé sur les plans de restauration.

L'équipe s'est rapidement rendue compte qu'il existait des différences importantes entre le plan et les dimensions des différents éléments. Ainsi la distance entre le nez de la première marche, toujours en place, et l'arrière du deuxième poteau de la balustrade, était de 1,99 m sur les plans or la distance après assemblage était de 1,87m.

De telles différences s'expliquent facilement : le relevé réalisé sur le chantier a sans doute consisté à mesurer la profondeur d'une seule marche, puis de multiplier cette mesure par le nombre de marches. Or, chaque marche a dû, à l'époque, être découpée à la main ce qui laisse supposer que toutes les marches n'étaient pas nécessairement d'égales dimensions. De plus, certains éléments n'apparaissent pas dans les plans, comme la petite balustrade donnant sur la porte-fenêtre. Il est également probable que les distances aient été légèrement modifiées lors du remontage des murs en maçonnerie du rez-de-chaussée, or ces changements ne pouvaient pas apparaître dans les plans d'IDCO, conçus à partir des relevés de la maison avant le démontage des murs. Les plans ont donc été utilisés pour comprendre l'implantation globale de l'escalier, sans trop se fier aux détails. L'équipe a fait le va-et-vient entre les plans, les éléments récupérés de l'escalier d'origine, et les nouvelles mesures.

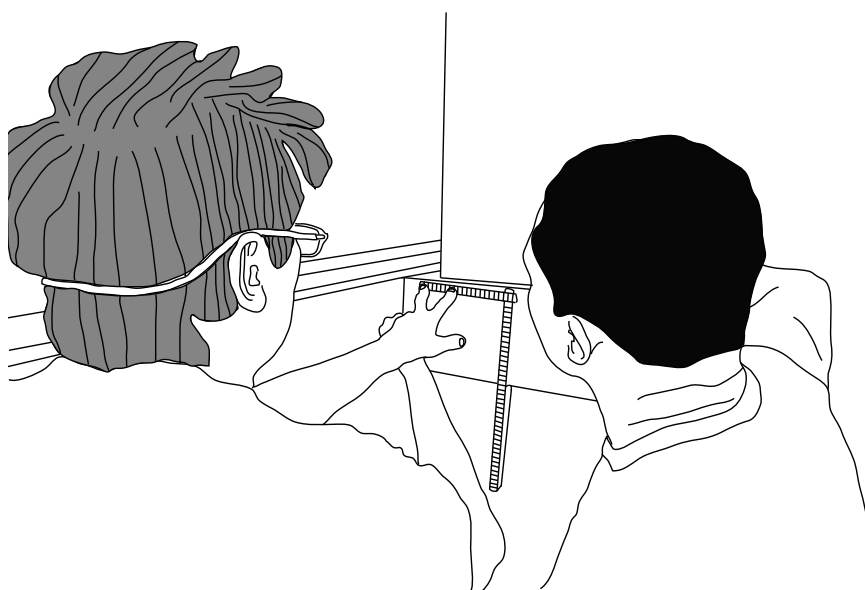


*Vérification de la concordance entre les plans et la réalité.*

## Le tracé

Patrick Lacroix et Marcel Osvald, grâce à leur expérience, ont suggéré de commencer par tracer l'escalier. Puisqu'il n'était pas possible de suivre les dimensions indiquées sur les plans, le tracé a permis de définir l'assemblage idéal entre les différents éléments. L'équipe a dû ainsi vérifier la hauteur de l'escalier car la mise en place de la grande poutre de 20x22,50 cm avait probablement modifié l'emplacement du dernier poteau de la balustre. La hauteur totale était de 4,58 m et elle a été divisée par le nombre de marches, soit 24.

De haut en bas, on a ainsi vérifié les dimensions des marches, contremarches, paliers etc. afin de comprendre les différences issues des variations dans les éléments d'origine et déterminer des dimensions standards.

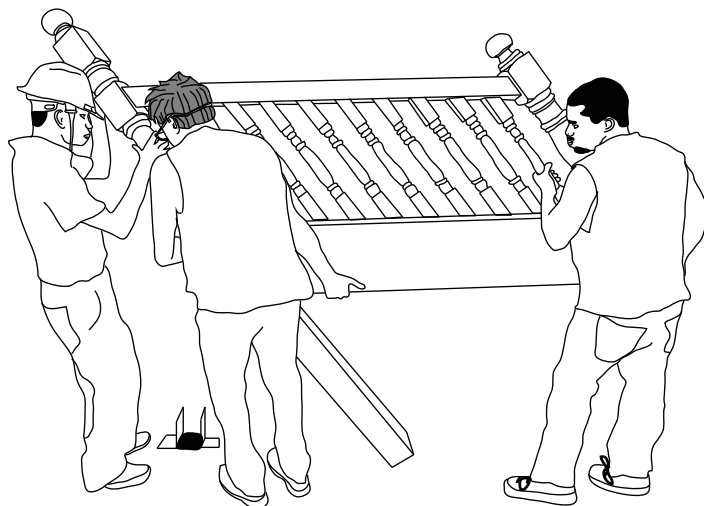


*Vérification des dimensions standards pour les marches, contremarches et paliers*

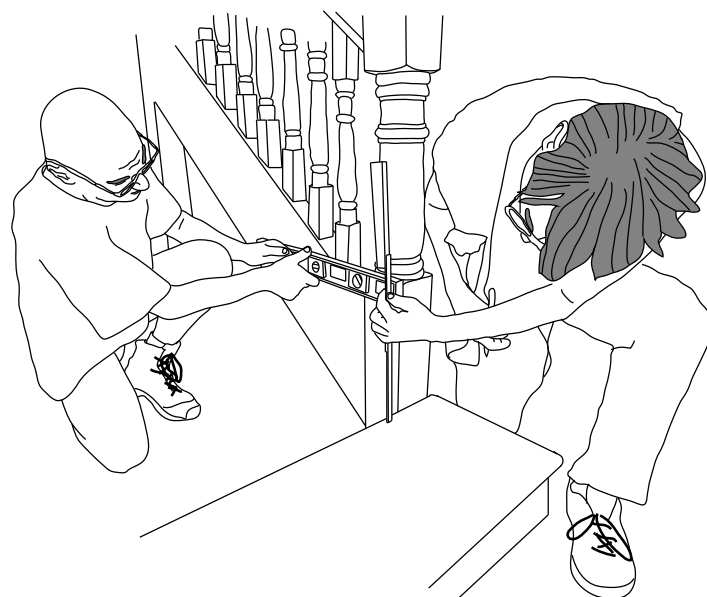
Ensuite, la première balustrade restaurée a été installée : elle a servi de point de départ pour le tracé sur le mur opposé. Un autre tracé a été fait sur cette balustrade ainsi que sur le mur opposé. L'installation de la balustrade a permis de mieux réaliser ces deux tracés de part et d'autre du futur escalier.

Il a été difficile de mettre la balustrade d'aplomb, car la greffe à la base de la balustrade était trop large pour les planques d'angles, toujours en place, qui permettaient de fixer la balustrade au sol. Marcel Osvald et Patrick Lacroix ont passé du temps à trouver un aplomb exact, car la mise en place du premier élément détermine l'orientation de l'ensemble.

Ensuite, sur une planche de contreplaqué (plywood), on a tracé les mesures de chaque marche et contre-marche, de 17,5 cm de hauteur et 25cm de profondeur.



*Installation de la balustrade*



*L'aplomb exact fut trouvé en fixant la balustrade au sol.*



*Tracé pour l'emplacement des marches*



*Préparation d'un gabarit pour mieux définir le tracé*

Marcel Osvald a insisté sur la préparation de ce gabarit en contreplaqué (plywood) pour définir le tracé avec précision. Le contreplaqué a été découpé à la scie sauteuse portative pour suivre le tracé au mieux.

Le gabarit a ensuite été installé pour définir le tracé des marches et des contremarches sur le mur et sur la balustrade : le découpage des marches et des contremarches était dès lors clair et facile à reproduire.

Ensuite, le tracé a été prolongé jusqu'en haut de l'escalier sur les murs et sur les crémaillères (limon). Il a été redessiné plusieurs fois car des difficultés sont apparues au cours du tracé, en particulier pour préciser l'emplacement des deux paliers. Finalement, chaque élément a pu trouver sa place.



*Installation du gabarit*



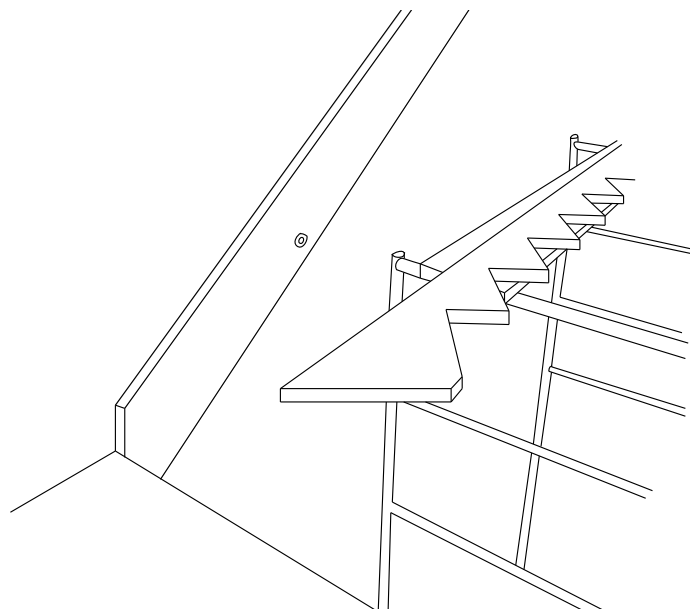
*Le tracé a été prolongé jusqu'en haut de l'escalier.*

## La mise en place des éléments

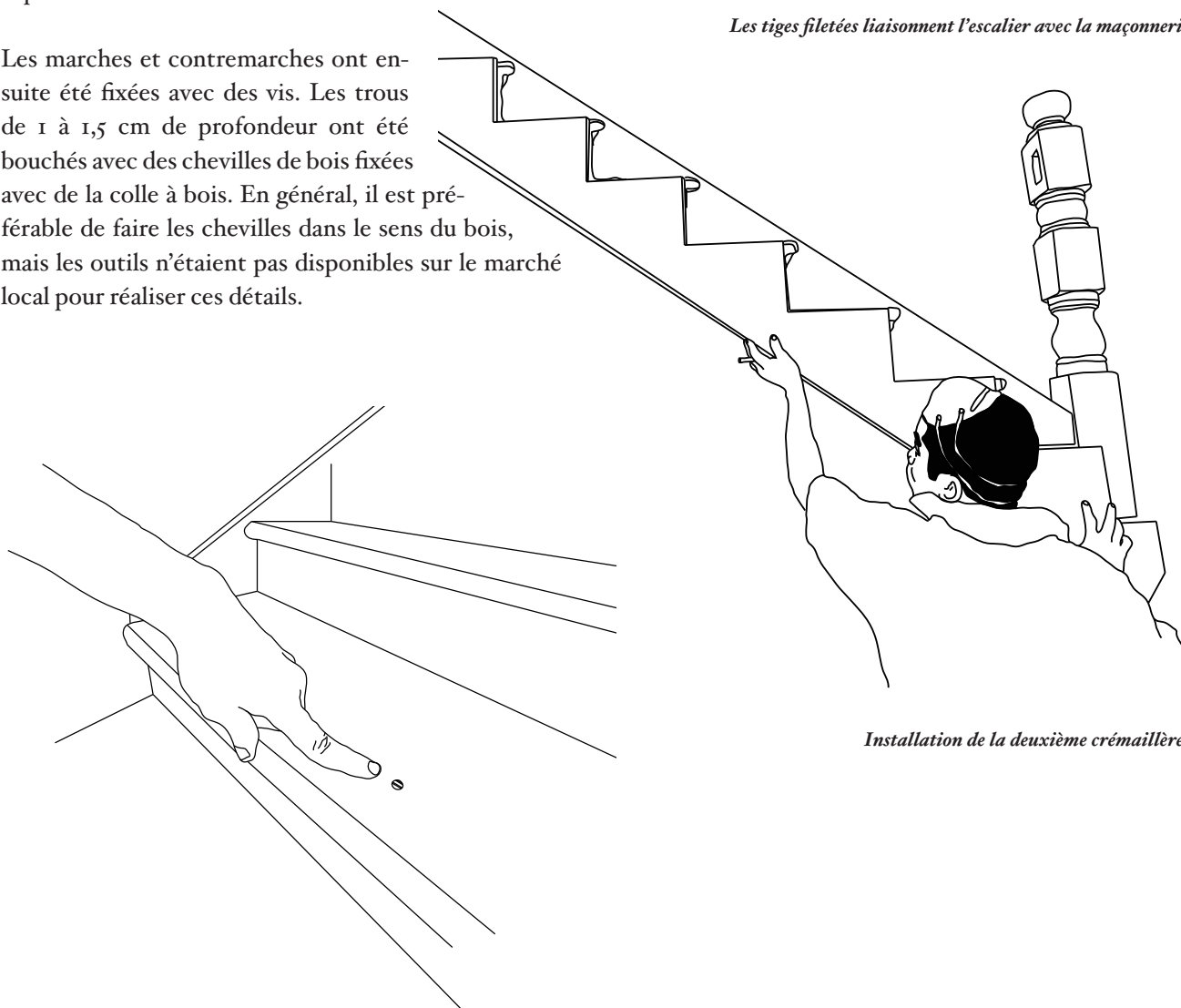
Ensuite, des tiges filetées ont été installées dans les murs pour liaisonner l'escalier avec la maçonnerie, à raison de 2 à 3 pour chaque volée et 4 à 5 pour chaque palier. Des trous de 10cm de profondeur ont été percés dans les murs puis remplis avec de l'époxy pour maintenir les tiges filetées en place. La première crémaillère a été attachée aux tiges filetées avec des boulons et rondelles.

Les marches et contremarches de l'escalier d'origine avaient été encastrées dans les rainures de la crémaillère. Au lieu de refaire ce système, une deuxième crémaillère a été ajoutée pour faciliter la remise en place des marches et contremarches. Cette deuxième crémaillère a été vissée à la première.

Les marches et contremarches ont ensuite été fixées avec des vis. Les trous de 1 à 1,5 cm de profondeur ont été bouchés avec des chevilles de bois fixées avec de la colle à bois. En général, il est préférable de faire les chevilles dans le sens du bois, mais les outils n'étaient pas disponibles sur le marché local pour réaliser ces détails.



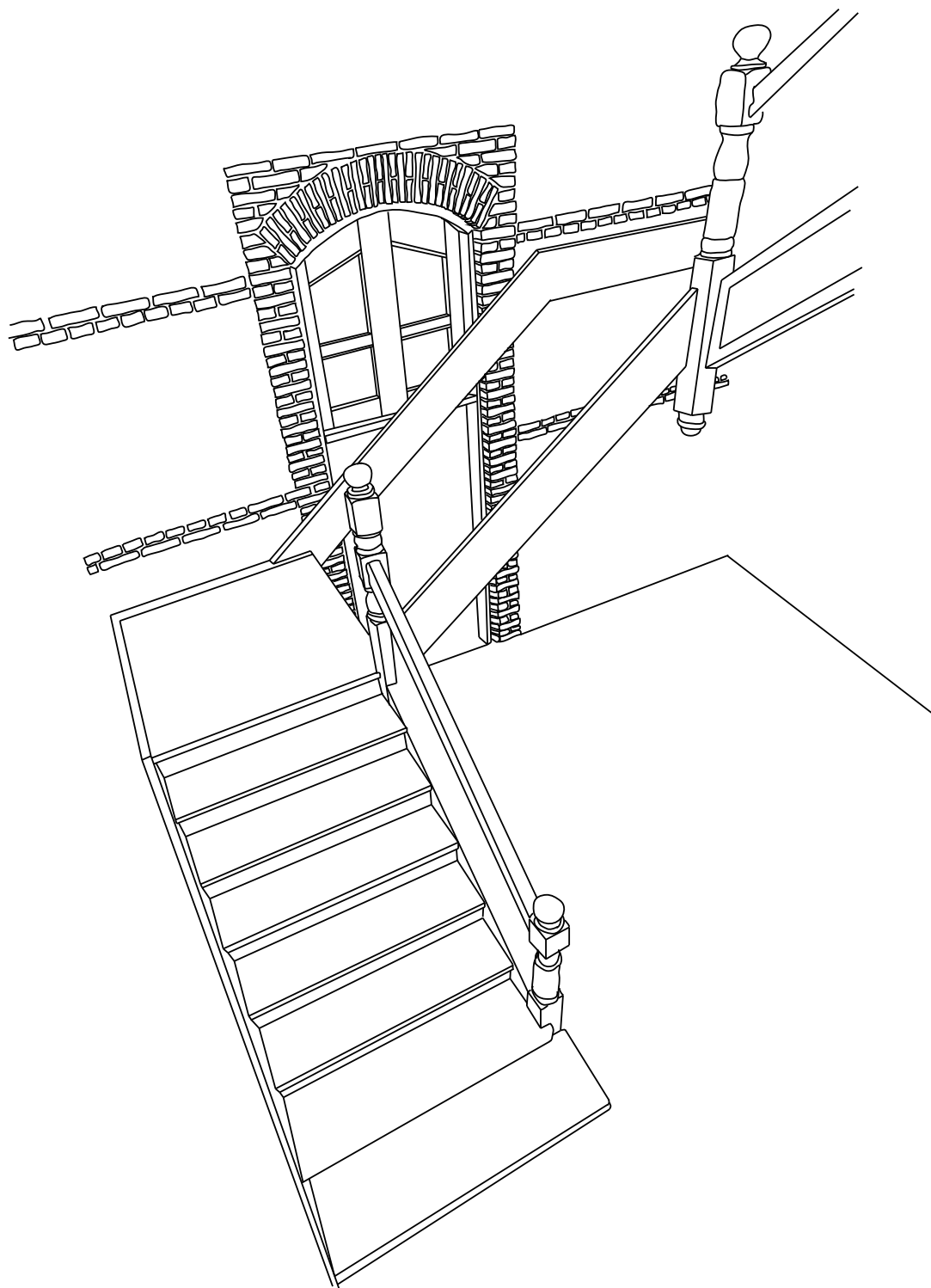
*Les tiges filetées liaisonnent l'escalier avec la maçonnerie.*



*Installation de la deuxième crémaillère*

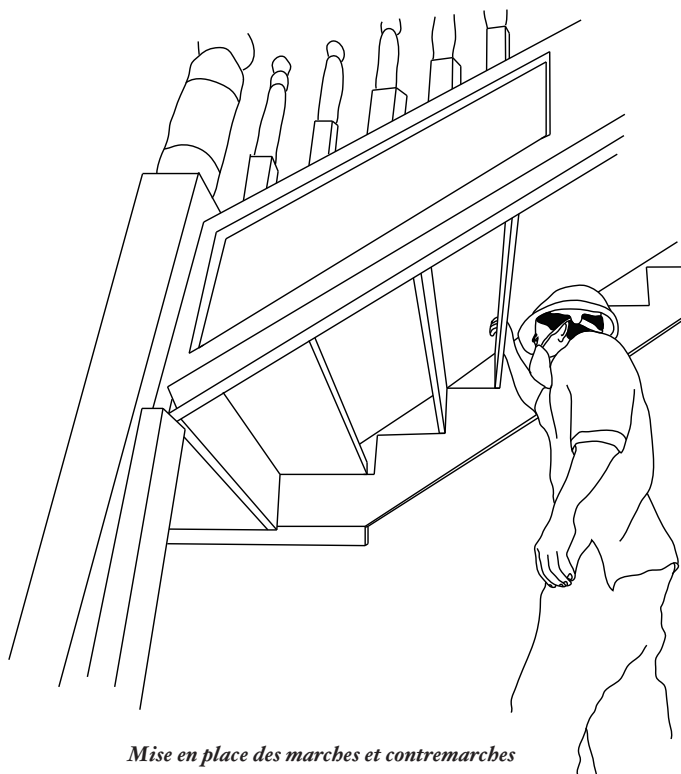
*Les trous ont été bouchés avec des chevilles de bois.*

Pour l'installation du premier palier, les planchers de renforcement qui liaient le palier avec les murs ont été doublés, comme pour les crémaillères des volées. Ensuite, le plancher a été vissé en place.



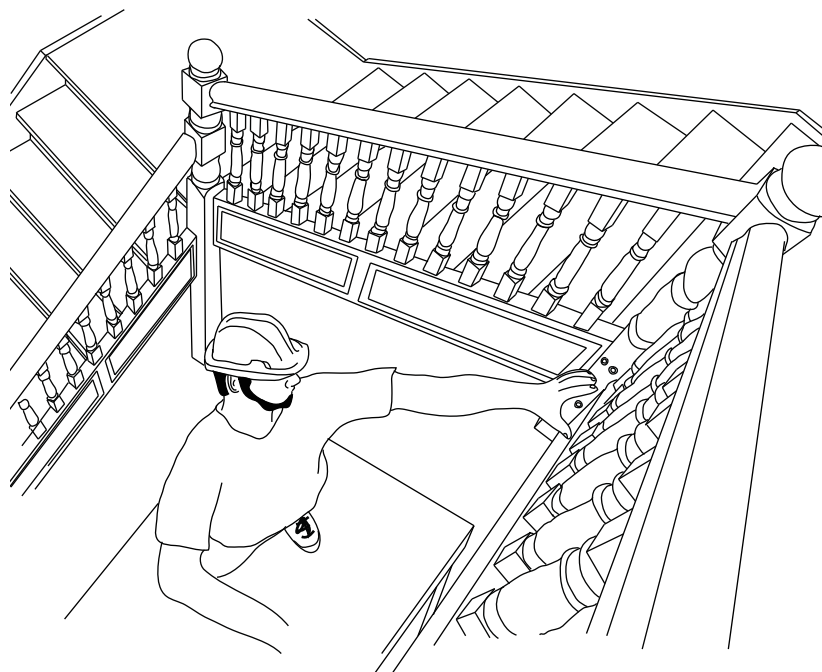
*Mise en place de la première volée des marches et le premier palier*

Le travail s'est poursuivi jusqu'en haut sans trop de difficulté, en vissant les contremarches et les marches.



*Mise en place des marches et contremarches*

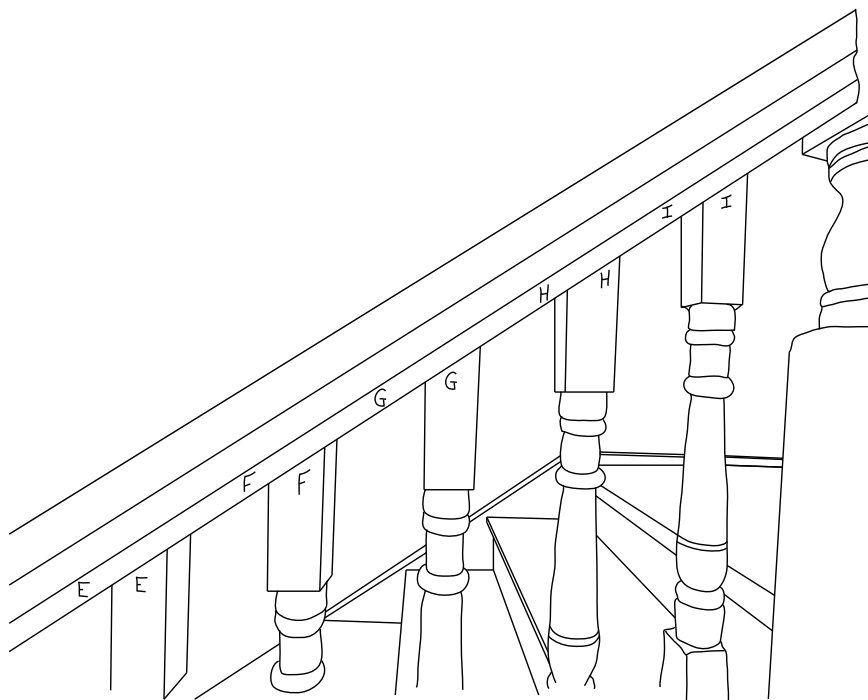
Le deuxième poteau, qui liait la deuxième et la troisième volée de l'escalier, n'allait pas jusqu'au sol dans l'escalier d'origine. Or l'équipe a constaté que cela avait constitué un point de faiblesse lors du séisme, puisque c'est là que l'escalier s'est ouvert et que les marches sont tombées. Avant de démonter l'escalier, on avait mis des étais à cet emplacement pour stabiliser les autres éléments toujours en place. Plutôt que d'installer un poteau neuf allant jusqu'au sol du rez-de-chaussée, l'équipe a choisi de renforcer le deuxième et le troisième poteaux avec des boulons au niveau du premier étage, pour assurer une bonne solidité à l'ensemble.



*Renforcement du deuxième poteau avec des boulons*

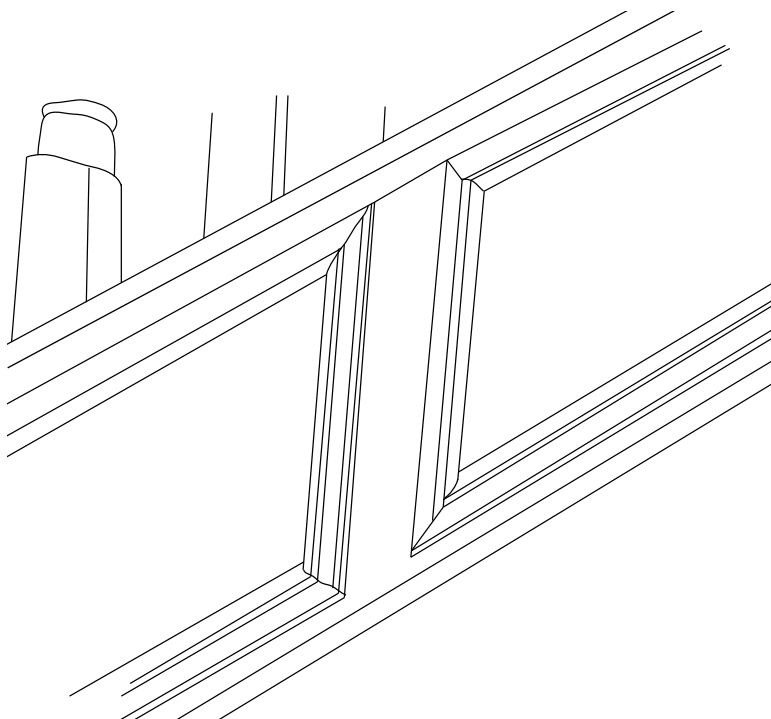
## Les finitions

Les balustrades avaient été refaites plusieurs fois, lors de restaurations antérieures au tremblement de terre de 2010, or les espacements entre les potelets étaient différents. Il a donc été décidé de remplacer les potelets à un rythme régulier.



*Remplacement des potelets à un rythme régulier*

Puis les moulures à l'extérieur des crémaillères ont été refaites, dans le même esprit que les moulures de l'escalier d'origine. Des moulures ont été ajoutées à la base du premier poteau, afin de cacher les plaques d'angle qui fixent le poteau au sol.

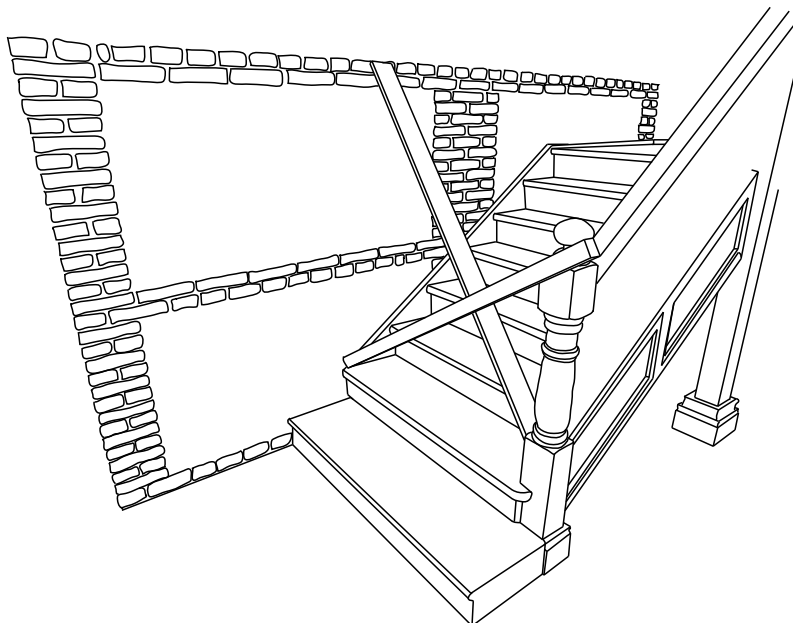


*Les moulures à l'extérieur des crémaillères*



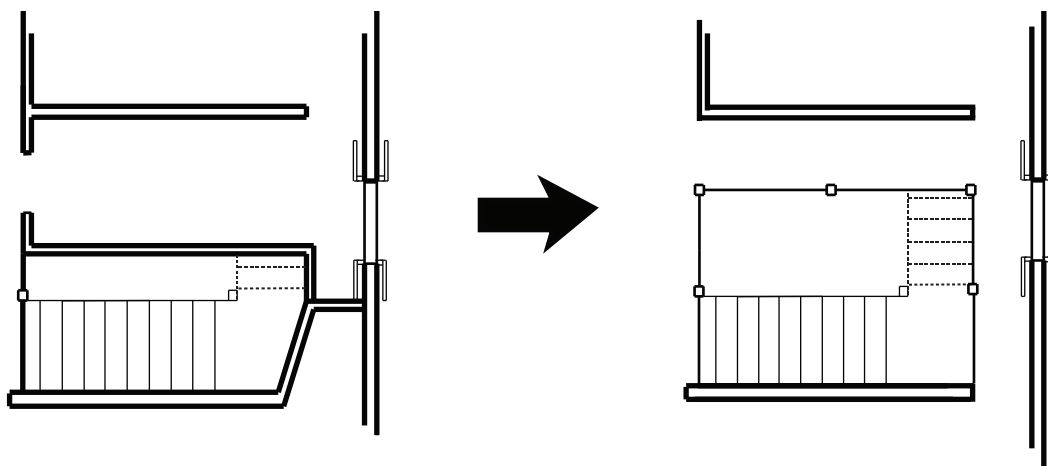
Enfin, l'équipe a nettoyé l'escalier et bouché les trous des vis. Il faut noter qu'en général, en restauration, on évite d'utiliser des vis car on favorise plutôt les assemblages (tenons et mortaises), qui sont plus solides.

Une couche de vernis a été appliquée pour éviter que la poussière ne pénètre les fibres du bois. Puis l'escalier a été recouvert d'une protection en plastique et fermé à la circulation. A partir de ce moment, les échafaudages et les échelles ont été utilisés pour monter à l'étage, plutôt que l'escalier. Une fois les travaux du rez-de-chaussée et du premier étage achevés, d'autres couches de vernis ont été appliquées ainsi que de la peinture (à l'exception des marches et contremarches).



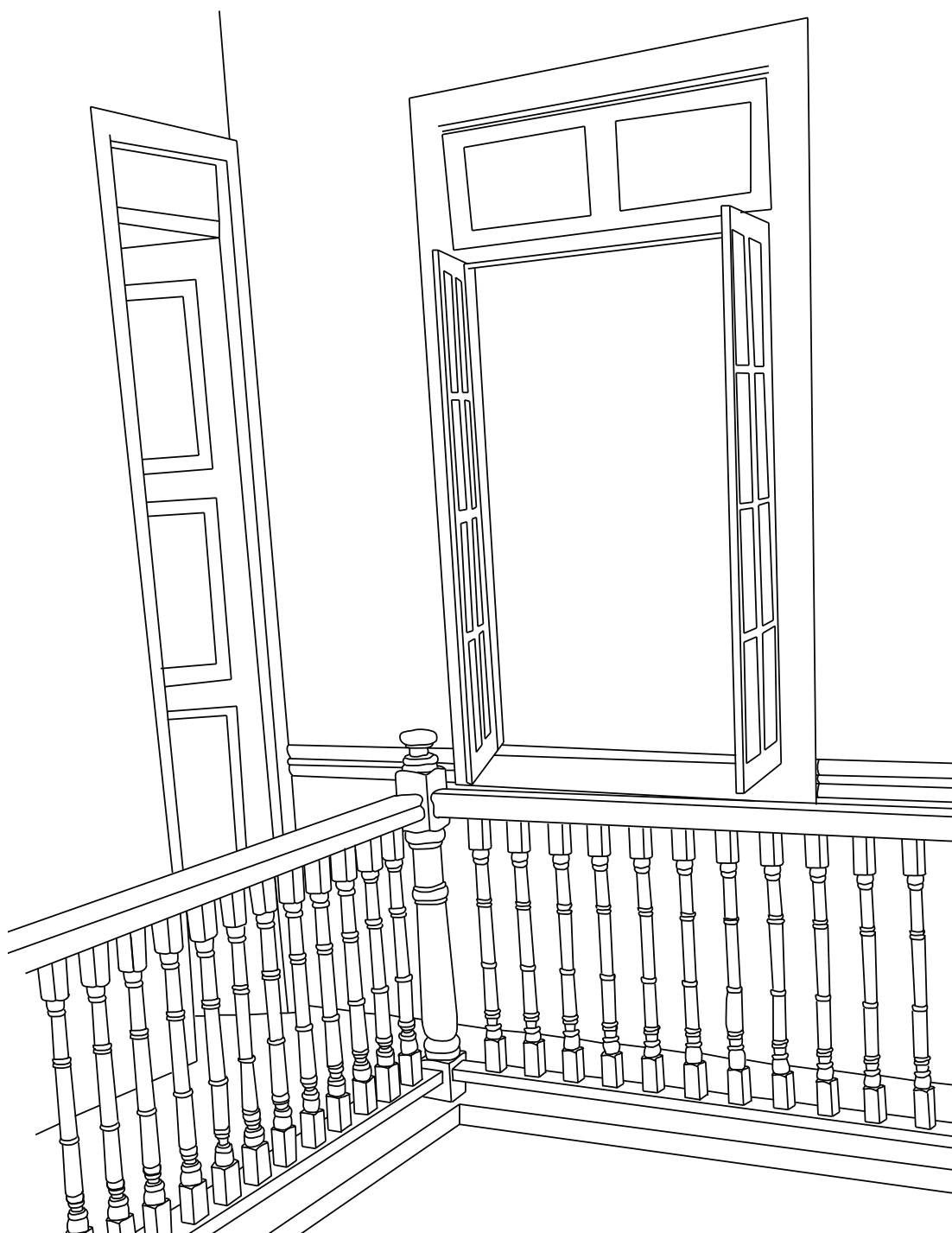
*L'escalier après application du vernis.*

Pour libérer plus d'espace autour de l'escalier, c'était décidé de changer le plan du premier étage, en remplaçant l'ancienne salle de bains par une coursiè.

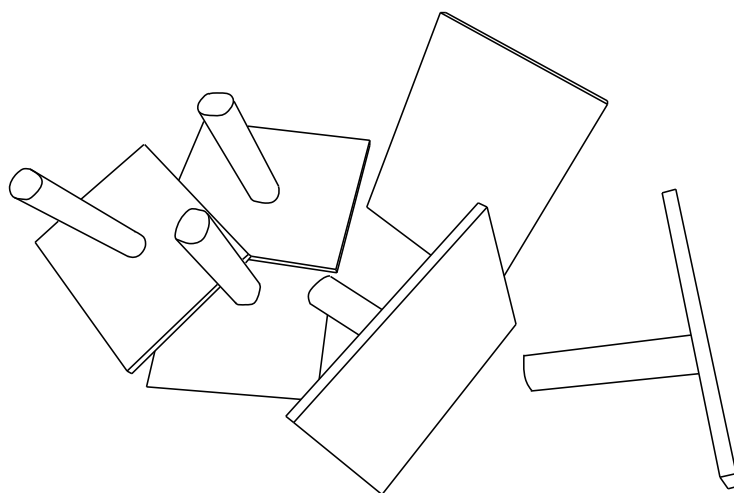


*Installation d'une coursièe autour de l'escalier*

Après la modification, il y a plus d'espace pour les gens qui montent et descendent l'escalier et il y a aussi plus de lumière naturelle dans l'escalier et jusqu'au rez-de-chaussée.



*La fenêtre qui ouvre sur la coursiue*



# **Les enduits**

Les enduits à la chaux sont une pratique ancienne en construction. Ils sont présents partout dans le monde dans la construction et ils sont souvent employés dans les chantiers de restauration.

Eddy Pierret, maître plâtrier et formateur à l'Institut du patrimoine wallon (IPW), a donné une formation pour l'équipe des stagiaires de la maison Dufort sur les enduits à la chaux en novembre 2014. Pendant leur séjour en Belgique en septembre 2013, les stagiaires avaient déjà commencé à apprendre les techniques d'enduisage avec Eddy Pierret. La seconde formation avait une vocation pratique sur les panneaux de maçonnerie de la maison Dufort.

## La première couche : le gobetis

Pour la maison Dufort, on a d'abord préparé un mélange composé de deux parts de sable de rivière passé au crible, et une part de chaux aérienne. Dans le malaxeur, on ajuste ce mélange avec un bouchon de savon liquide pour éviter que l'eau ne remonte. Il ne faut pas mettre plus d'un bouchon dans le mélange ! Pour la première couche, on privilégie le sable de rivière plutôt que le sable de carrière car le sable de rivière est plus gros et rond, ce qui permet d'assurer une meilleure adhésion entre le liant (la chaux) et le sable.

La chaux aérienne doit être différenciée de la chaux hydraulique, utilisée pour la préparation du mortier pour la maçonnerie. La chaux aérienne est une chaux éteinte (hydroxyde de calcium) qui ne contient pas d'argile. La chaux hydraulique contient de l'argile. Par conséquent, la prise est moins rapide avec la chaux aérienne et elle ne peut se faire qu'en présence de dioxyde de carbone dans l'air. La chaux aérienne est produite industriellement : on pulvérise de la chaux vive puis l'expose à la vapeur d'eau pour « éteindre » la chaux. Grâce à la pulvérisation, la granulométrie de la chaux aérienne est souvent plus fine que celle de la chaux hydraulique.

La chaux aérienne est produite en Haïti de façon artisanale ce qui rend difficile le contrôle de sa qualité, de plus sa cuisson nécessite une importante quantité de bois ce qui risque d'accentuer les problèmes environnementaux. La chaux utilisée pour la restauration de la maison Dufort est importée de Colombie.

La différenciation entre la chaux aérienne et la chaux hydraulique est régie par une norme internationale. La chaux hydraulique est marquée « NHL » (Natural Hydraulic Lime) et la chaux aérienne « CL » (Calcic Lime). Dans le cas de la chaux utilisée à la maison Dufort, il n'y avait pas d'indication sur les sacs. Afin de s'assurer de la qualité de la chaux, Eddy Pierret a mis une quantité de chaux dans l'eau. Après une nuit, il a constaté que la chaux n'avait pas durci. Ce test a permis de conclure qu'il s'agissait bien de chaux aérienne. S'il s'était agi de chaux hydraulique, la prise aurait eu lieu.



*Chaux aérienne importée*

Une première journée doit être consacrée à la préparation du matériel et de l'eau de chaux pour l'arrosage des murs : il faut mettre 200 litres d'eau dans un drum, puis y verser le sac de chaux (25 kg environ) en pluie. Puis le mélange doit reposer 12 heures pour l'alcalinisation de l'eau. L'eau de chaux a un PH de 14. Pendant ce temps, il faut accrocher des bâches sur des échafaudages pour protéger les murs extérieurs du soleil pendant l'enduisage. Un séchage trop rapide risquerait en effet d'entraîner des microfissures.

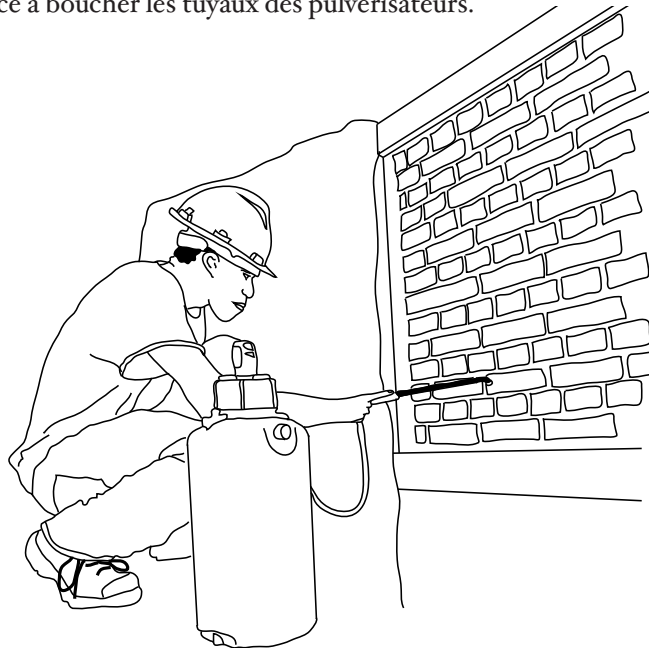
Pour assurer une bonne adhérence avec la maçonnerie, il faut commencer par mouiller le mur, avec un pulvérisateur, avant d'appliquer la première couche d'enduit. En effet, la maçonnerie sèche absorbe beaucoup d'eau. Si le mur n'est pas mouillé préalablement, les couches d'enduit risquent de sécher trop vite, l'enduit se déshydratera et des microfissures peuvent apparaître.



*Préparation de l'eau de chaux*

Lorsque le mur est mouillé, et avant de commencer l'application de la première couche, on arrose une dernière fois le mur avec de l'eau de chaux. L'eau de chaux permet d'augmenter le PH de la surface du mur et l'enduit collera mieux. Attention ! Lors de l'arrosage des murs à l'eau de chaux, il faut se protéger : l'eau de chaux est fortement alcalinisée et peut endommager la peau et les yeux.

A noter par ailleurs qu'il est préférable de tamiser l'eau de chaux avant de remplir le réservoir du pulvérisateur : les résidus de chaux ont tendance à boucher les tuyaux des pulvérisateurs.



*Arrosage des murs à l'eau de chaux*

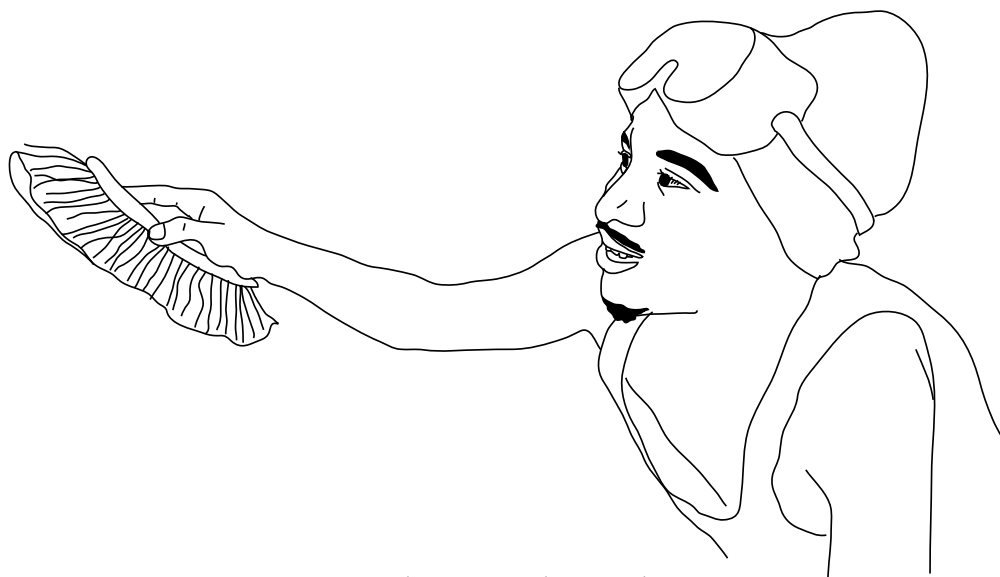
Une fois le mur arrosé, on commence l'application de la première couche d'enduit avec une truelle et une taloche. Il faut déposer environ 700g à 1kg d'enduit sur la taloche. Puis on prend environ 100g avec la truelle. On lance l'enduit avec la truelle sur le mur pour qu'il colle : ceci demande un peu d'entraînement pour avoir un bon « coup de poignet ». Ce geste doit être pratiqué. Le bon maniement de la truelle permet d'éviter les vides ou les bulles d'air entre le mur et l'enduit.



*Application du gobetis*

La première couche doit faire environ un centimètre d'épaisseur. Il n'est pas nécessaire de remplir tous les joints de la maçonnerie avec la première couche : laisser un peu d'espace permet d'assurer une meilleure adhérence par la suite entre la première couche et la deuxième couche d'enduit. Après l'application de la première couche, il faut à nouveau arroser le mur à l'eau de chaux pour mieux garantir la solidité de la première couche. Il faut ensuite attendre douze heures minimum avant l'application de la deuxième couche afin que la prise puisse commencer.

L'application de l'enduit entraîne des salissures au sol et sur les côtés. Il faut donc protéger les parties qui ne seront pas enduites. A Dufort, les panneaux de maçonnerie, entourés par des chaînages et piliers, ont été protégés, ainsi que les planchers de bois. En cas de salissure, il est indispensable de nettoyer après chaque couche d'enduit.



*Nettoyage des murs après chaque couche*

## Deuxième couche : le corps de l'enduit

Pour la deuxième couche, le mélange est différent. On mélange deux parts de sable de rivière, une part de sable de carrière et une part de chaux. A nouveau, il faut mettre un bouchon de savon liquide dans le malaxeur pour que l'eau ne remonte pas.

On arrose le mur avec de l'eau de chaux avant l'application de la deuxième couche d'enduit. On applique l'enduit d'après la même technique, cette fois il faut que les joints de la maçonnerie ne soient plus visibles. Ensuite, on rabote l'enduit avec une règle en bois pour le rendre plus régulier, sans le rendre lisse. Une surface rugueuse permettra à la troisième couche d'enduit de bien adhérer.

La deuxième couche d'enduit doit se solidifier pendant douze heures. S'il y a des irrégularités dans le mur ou qu'il n'est pas d'aplomb, on peut ajouter des couches supplémentaires d'enduit avec le même mélange que pour la deuxième couche. Chaque couche doit faire environ 1,5 centimètres d'épaisseur et doit sécher pendant 12 heures



*Application de la deuxième couche*

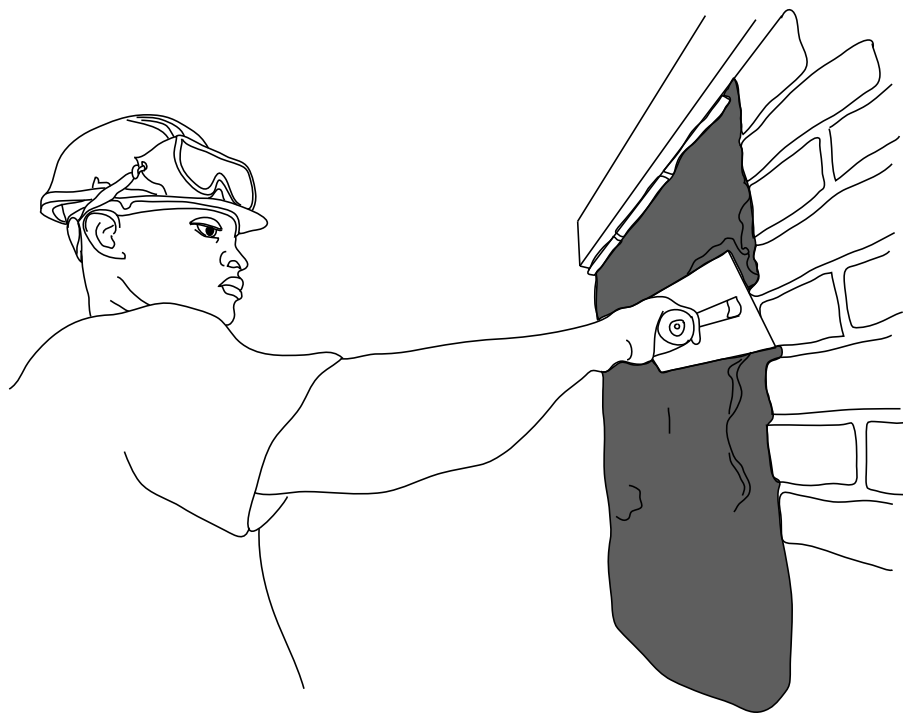
## La troisième couche : couche de finition

Avant d'appliquer la troisième couche, il faut à nouveau arroser le mur avec de l'eau de chaux. Ensuite, il faut préparer le mélange de finition. Afin d'obtenir une texture fine, il faut du sable très fin, dont la granulométrie est inférieure à deux millimètres. Un sable aussi fin n'existe pas sur le marché local en Haïti. Le sable a donc dû être tamisé à la main avec un tamis dont les mailles étaient d'un millimètre. Puis on peut réaliser le mélange : dans le malaxeur, on met trois parts de sable de rivière tamisé, trois parts de sable de carrière tamisé, deux parts de chaux aérienne et un bouchon de savon liquide.



*Tamissage du sable*

Pour appliquer la troisième couche, on utilise une taloche métallique. On la tient de façon à ce que le bord inférieur applique l'enduit tout en le grattant. Il faut éviter de trop lisser la surface pendant l'application de la troisième couche d'enduit.



*Application de la troisième couche*

Après l'application de la troisième couche, on passe une règle de bois (une planche de bois avec des coins légèrement arrondis pour que ça glisse bien) qu'on tient à deux mains pour mieux contrôler la régularité de la surface. Dans les endroits où il y a des trous, on ajoute de l'enduit avec la taloche métallique. Enfin, on polit en frottant le mur avec une taloche de bois pour créer une surface régulière.



*Polissage de l'enduit*



## Préparation et application du badigeon

Si on met de la peinture acrylique sur un mur où on a utilisé un mortier de chaux et un enduisage à la chaux, on perd toutes les qualités de perméabilité de la chaux qui permet au mur de respirer. En effet, l'acrylique est imperméable. De plus, si l'eau remonte dans les murs par capillarité, la couche de peinture à l'acrylique risque de se détacher du mur. Il est donc fortement recommandé de ne pas mettre de la peinture acrylique mais d'appliquer un badigeon à la chaux sur les murs enduits à la chaux.

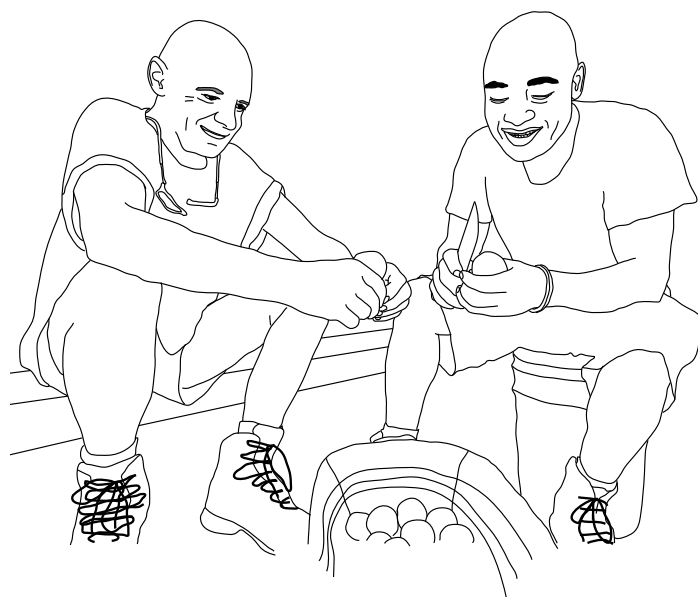
Plutôt que d'acheter ce badigeon, on peut le produire directement sur le chantier. Pour commencer, on mélange un litre de lait demi écrémé avec la pâte qui est restée au fond du drum où l'eau de chaux a été préparée ; il faut mettre suffisamment de lait pour obtenir une consistance liquide qui ressemble à la consistance de la peinture. Le lait contient des protéines (de la caséine) qui se transforme en colle en présence de la chaux et aide à fixer le badigeon sur l'enduit et rend le badigeon plus durable.

Le badigeon est ensuite appliqué a fresco, c'est-à-dire dans les 48 heures qui suivent l'enduisage et avant que la prise des couches d'enduit ne s'achève. On applique la première couche de badigeon avec un pinceau en donnant des coups de pinceau verticaux. Puis on attend 12 heures pour la carbonisation de la chaux du badigeon, et on peut ensuite mettre la deuxième couche, avec cette fois des coups de pinceau horizontaux. On attend encore 12 heures et enfin, on met une troisième couche de badigeon avec des coups de pinceau verticaux.

Après des essais, on utilisait un autre badigeon avec une formule « haïtienne » qui a donné de bons résultats. Cette technique traditionnelle est un mélange de la pâte de la chaux avec du jus d'oranges amères pour obtenir une consistance liquide. Traditionnellement, on écrasait les oranges entières, avec la peau et les pépins, dans la pâte de chaux. La partie solide restait au fond du seau et on appliquait la partie liquide comme badigeon. On suivait la même méthode d'application que celle décrite plus haut, avec trois couches successives, une couche appliquée chaque 12 heures.



*Préparation du badigeon avec du lait*



*Préparation du badigeon avec des oranges amères*