

MAKIT 25 Janvier 2023

*Il reste des corrections à faire, notamment la figure 3, 4, 5, 6 p2, le support lucarne fig 23 24 25, p9 30, 31 p11)  
Les figures sont tirées du dossier figures 18 janvier. Retrouver les originaux ...*

### I. Introduction

On dessine dans un plan muni d'une trame carrée d'arête  $a=75\text{cm}$ , dite "module". De même on représente l'espace usuel de dimension 3 dans un réseau cubique d'arête modulaire  $75\text{cm}$ , généralisant en 3 dimensions le papier quadrillé ordinaire en 2 dimensions. On parlera indifféremment de trame ou de réseau cubique modulaire. Lorsqu'on dessine dans cet espace des plans dans chacune des trois directions principales (X,Y,Z ou frontal, face, horizontal), on y découpe des volumes cubiques inscrits dans la trame, aussi appelés « chambres ». Selon le contexte et l'échelle à laquelle on se place elles peuvent représenter des pièces (architecture), des casiers (mobilier), des tableaux (Excel, Vasarely), des mailles (tricot), des cellules (tissu organique) etc. Elles sont concrètement réalisées par l'assemblage de parois (sols, plafond, murs, panneaux, facette, ...) ayant une certaine épaisseur, laquelle crée un problème d'assemblage des parois qu'on résout de différentes façons selon les cas (visserie, colle, couture, charnière, tenons-mortaises, tourillons etc.). Makit propose un jeu de volumes matérialisés par des faces rectangulaires inscrites dans un réseau cubique et assemblées par des tourillons régulièrement disposés sur les noeuds du réseau.

### Arêtes couvrantes et arêtes couvertes

Deux faces adjacentes se rencontrant sur une arête, l'épaisseur "e" des plaques impose bien sûr de choisir laquelle est une face couvrante et laquelle est couverte, ce qui conduit à plusieurs solutions théoriques pour chaque volume donné.

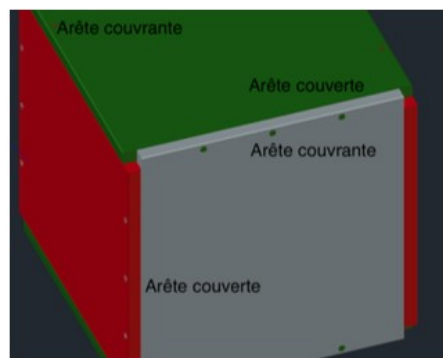


figure 1. Arêtes couvrantes et arêtes couvertes

Exemple le plus simple : la boîte cubique.

On y trouve 12 arêtes, chacune à l'intersection de deux faces du cube. Suivant les choix de faces couvrantes ou couvertes on obtient plus de 4000 possibilités pour assembler les faces du cube. Heureusement, en tenant compte des symétries du cube et en imposant une certaine régularité de construction il ne reste que deux solutions homogènes pour réaliser une boîte cubique respectant une seule règle simple : **les faces sont toutes identiques.**



figure 2. FacesCubes

Les 6 faces de chaque cube sont identiques. Il n'y a que ces deux assemblages qui réalisent cette condition.

### II. Application aux maquettes de bâtiments. Quelques choix géométriques.

En respectant quelques règles assez peu contraignantes, on peut donner une représentation fidèle de la plupart des bâtiments à l'échelle 1/50 soit encore  $3\text{mm}$  pour des murs d'épaisseur  $15\text{cm}$  (noté  $3\text{mm}\sim 15\text{cm}$ ), soit aussi  $6\text{cm}$  pour un étage de hauteur  $3\text{m}$  ( $6\text{cm}\sim 3\text{m}$ ).

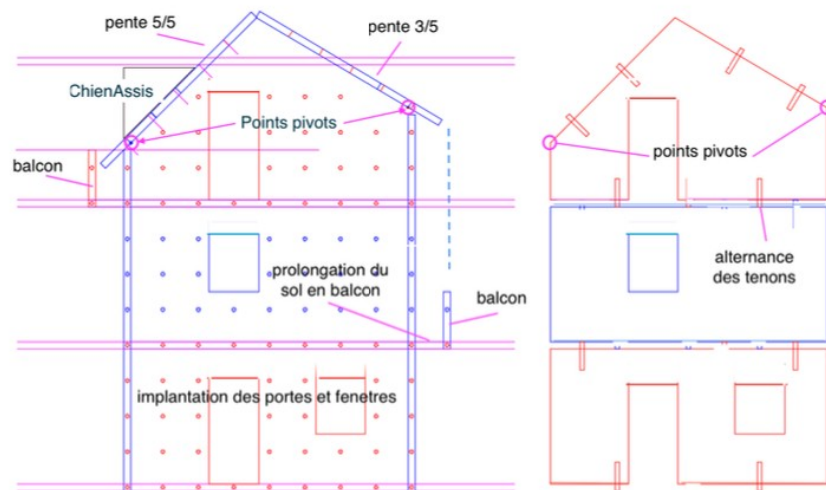
Les parois représentant les sols, murs et plafonds, sont des panneaux d'épaisseur  $e=3\text{mm}$  ( $e\sim 15\text{cm}$ ) inscrits dans un réseau cubique d'arête modulaire  $a=15\text{mm}$  ( $a\sim 75\text{cm}$ ). Les noeuds de ce réseau sont matérialisés par des tenons insérés dans des mortaises (tourillons et orifices cylindriques) servant de points d'ancrage pour les liaisons entre panneaux.

Selon leur position dans l'assemblage, les arêtes des panneaux sont couvrantes ou couvertes. Les arêtes "couvrantes" sont bordées par des mortaises et les arêtes "couvertes" bordées par des tenons (voir fig.1).

### 1. Implantation dans la trame

Les panneaux (sols et murs) s'inscrivent dans les plans de la trame cubique modulaire d'arête  $a=15\text{mm}$ . Les étages ont une hauteur de 4 modules ( $4a \sim 3\text{mètres}$ ). Les murs ont donc aussi une hauteur de  $4a$ . Ils seront, lorsque nécessaire, percés par des ouvertures rectangulaires recevant des portes ou des fenêtres. Ils sont fixés au sol par des tenons placés sur leur arête horizontale basse, s'insérant dans les mortaises du sol. Ces arêtes sont donc toujours « couvertes ». La figure 3 ci-dessous explicite ce principe et précise la découpe des portes et fenêtres.

fig. 3



Remarquons déjà que :

- Les sols des balcons sont tracés dans le prolongement des planchers correspondants, ce qui simplifie la découpe des panneaux
- On utilise des petits murets de hauteur  $6e$  ( $\sim 90\text{cm}$ ) pour les balcons, balustrades et sous pente
- Les portes et fenêtres ont deux largeurs ( $5e$  ou  $7e$ ), ce qui unifie les systèmes de fixation d'objets dans la maquette. Elles sont réalisées par des ouvertures rectangulaires dans lesquelles viennent s'insérer des objets 3D (châssis de portes et fenêtres ou lucarnes par exemple).
- Au dernier étage certains murs, dits « charpentes », prennent une forme trapézoïdale ; leurs arêtes inclinées, soutiennent la toiture et sont donc de nature couverte. On limite les choix de pentes possibles à  $1/5$ ,  $2/5$ , ...,  $5/5$  ( $45^\circ$ ). Lorsque la pente du toit est forte ( $5/5 \sim 45^\circ$ ), on peut y implanter un chien assis ou une lucarne (élément 3D fabriqué indépendamment), dont la façade prolonge celle du bâtiment principal suivant les deux schémas suivants

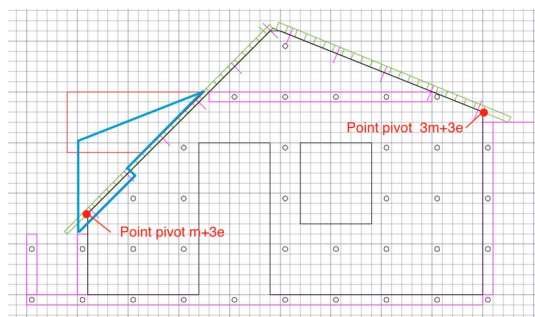


fig.4 Lucarne

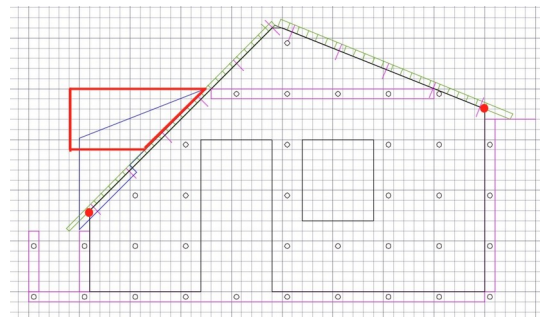


fig.5 Chien assis.

- Sur les panneaux de charpentes, en forme de trapèze, le « point pivot » (en rouge sur les fig. 4,5), indique le début de la pente. Il est à une hauteur «  $ka+3e$  » ( $k$  entier,  $a=5e$ ). Par exemple les deux points pivot des figures 4,5 correspondent à  $k=1$  ( $8e \sim 120\text{cm}$ ) et  $k=2$  ( $13e \sim 195\text{cm}$ ).

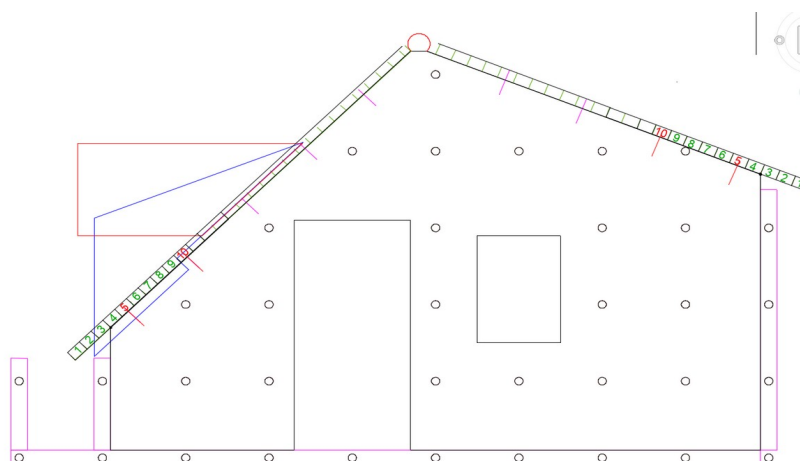
### 2. Nomenclature

2.a. Les panneaux verticaux sont déterminés par plusieurs paramètres.

- Nombre de portes et fenêtres à insérer
- Largeur du panneau exprimée en nombre de modules
- \* hauteur  $h$  des arêtes verticales gauche et droite donnée en fonction de  $e$  par une relation  $h=(5k+3)e$  ( $k$  entier),
- pentes du toit (à gauche et à droites du panneau)
- Nature des arêtes verticales gauche et droite (couvrante (0) ou couverte (1))

Par exemple le code du panneau de façade de la figure 6 ci-dessous (contour vert), est CPF8(8,13,5,2,1,1), signifiant qu'il s'agit d'un panneau de charpente (C) comportant une porte (P) et une fenêtre (F), de largeur 8 modules ( $8a=40e \sim 6\text{mètres}$ ), de sous pentes (gauche= $8e$ , droite= $13e$ ), de pentes (gauche= $5/5$ , droite= $2/5$ ) et d'arêtes verticales couvertes (gauche= $1$ , droite= $1$ )

fig6 implantation 2023  
CPF8(8,13, 5, 2, 1, 1)



*Remarque :* Si le contexte permet d'éviter toute ambiguïté on adopte la notation simplifiée CPF8-11, rappelant qu'il s'agit d'un panneau « trapézien » de largeur 8 modules comportant une porte et une fenêtre.

## 2.b. Représentation plane. Nature des arêtes verticales

Les arêtes horizontales des murs étant par nature "couvertes", il reste à déterminer la nature des arêtes verticales. Sur une vue aérienne (vue "en plan") du bâtiment, les arêtes verticales sont en général à l'intersection de deux murs de directions perpendiculaires formant donc un 'T' un 'L' ou un ' + '. Dans le cas du T on décide que le pied du T est "couvert" et sa barre supérieure est "couvrante". Pour les deux autres situations (intersection en L ou ' + ') on convient que la direction du faîtage de toit est **couvrante** tandis que la direction perpendiculaire (celle des murs-charpente perpendiculaires au faîtage) est **couverte**.

La figure 7 donne quelques conventions graphiques pour représenter des éléments de construction en vue plane

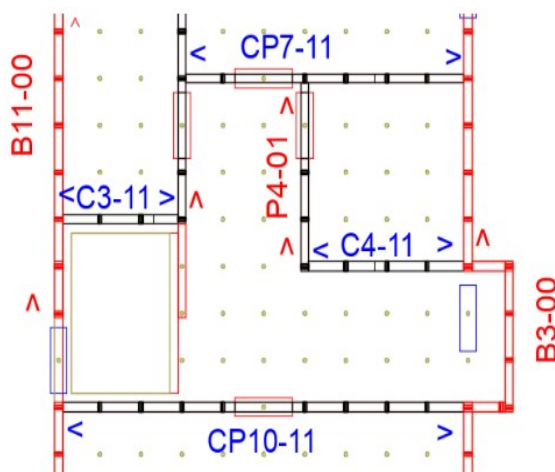


figure 7. Représentations planes

La couleur du nom (rouge ou bleu) nous renseigne sur l'orientation du mur par rapport à la direction du faîtage. Les ouvertures de portes sont représentées par un rectangle rouge et les fenêtres par un rectangle bleu. Les symboles < ou > aux extrémités des cloisons permettent de mieux visualiser la nature de leurs arêtes verticales (couvrante ou couverte).

## 2. Assemblages

Les plaques sont assemblées par des tourillons cylindriques (ou goupilles) de diamètre D=1.2 à 1.5mm et de longueur 10mm. Les trous transversaux (mortaises perpendiculaires aux plaques) sont disposés suivant une trame carrée d'arête 15mm. Leur diamètre D, entre 1.2 et 1.5mm, dépend des goupilles retenues. Les mortaises dans les champs des plaques sont des «trous cylindriques » de même diamètre D qu'on obtient sans difficultés à l'aide d'un gabarit-goutière (voir plus loin les précisions techniques).

EXEMPLES DE MAQUETTES  
A. Premier exemple (QuiberonPY)



Fig 8 Quiberon PY, Version pvc expansé

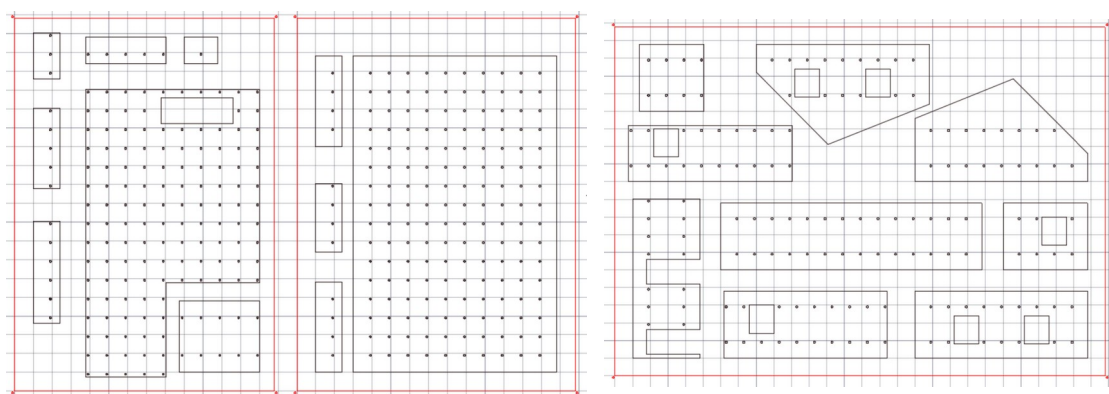


Fig. 9 et 9-2 Quiberon PY. Découpe et perçage

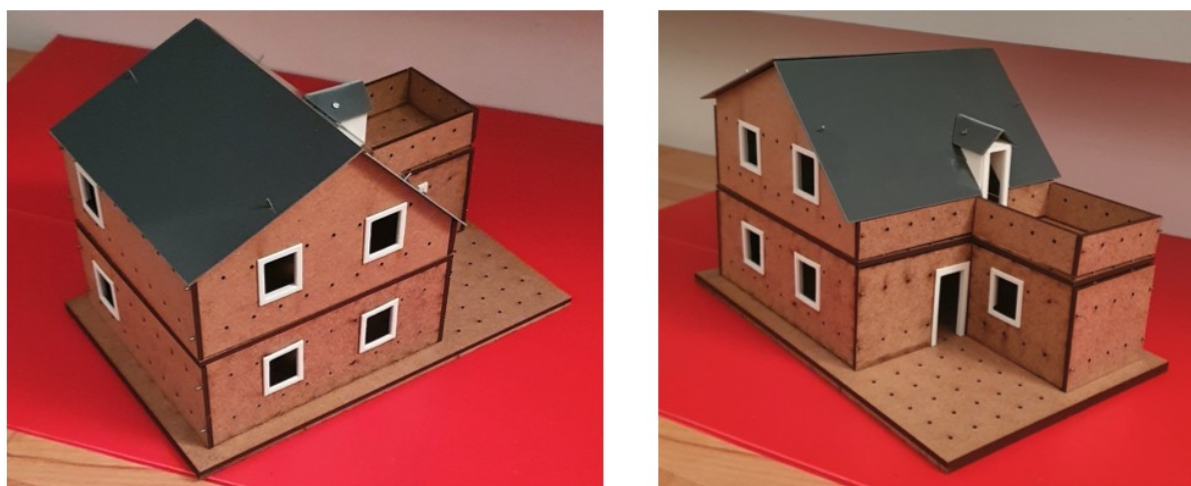


fig 8' Quiberon PY, VersionMDF



## B. Deuxième exemple de maquette (Quiberon)

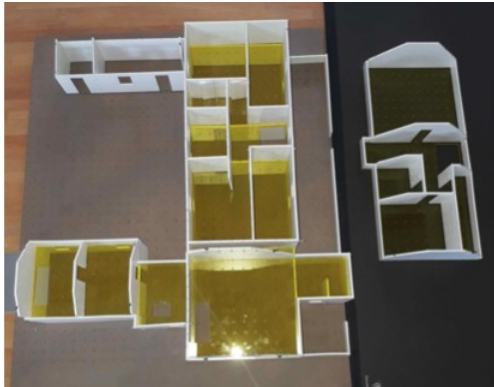


Fig 10



fig 11

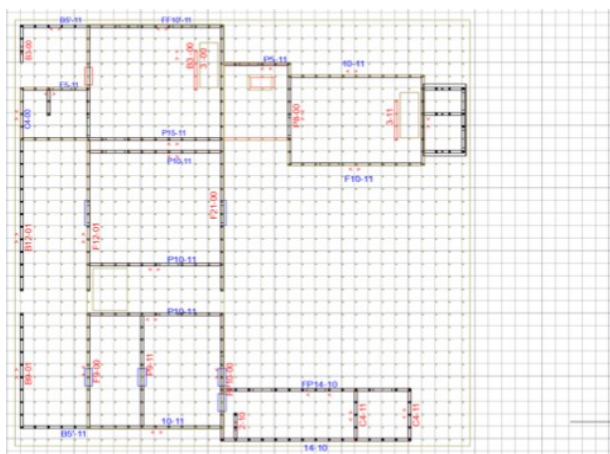


Fig 12 E<sub>0</sub> (Rez de chaussée)

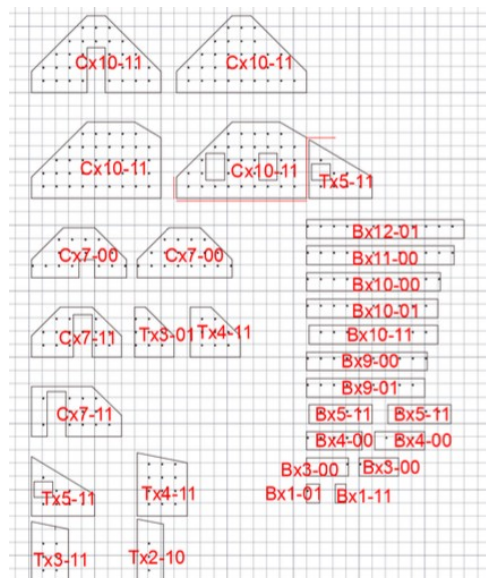


Fig 13 cloisons et murs

## C. Exemple 3 (Brunoy)



Fig 14



Fig 15

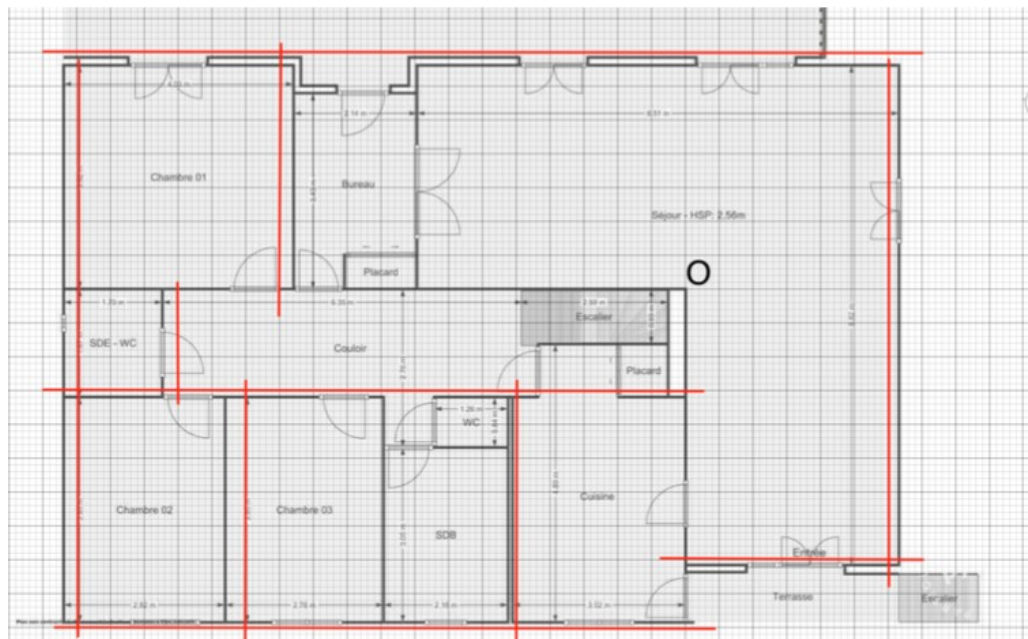
Voici, sur un exemple (Brunoy), la procédure à suivre pour adapter un plan de maison à sa représentation par une maquette Makit. On utilise le logiciel open source sh3D avec lequel on importe un plan de la maison ajusté à une échelle de 1/50.

Les étapes 1,2,3 suivantes explicitent les modifications du plan pour l'adapter à une maquette Makit.

1. Une origine O étant choisie, on cale sur le plan un calque contenant la trame carrée des mortaises.
2. Le plan d'origine est en noir et la trame carrée est un quadrillage (15x15 ~ 75cmx75cm à l'échelle 1/50). Chaque module (75cm) est lui même divisé en 5 intervalles de 15cm correspondant à l'épaisseur des plaques de pvc (3mm ~ 15cm), dessinant une trame plus fine sur laquelle seront placés les murs de la maquette.

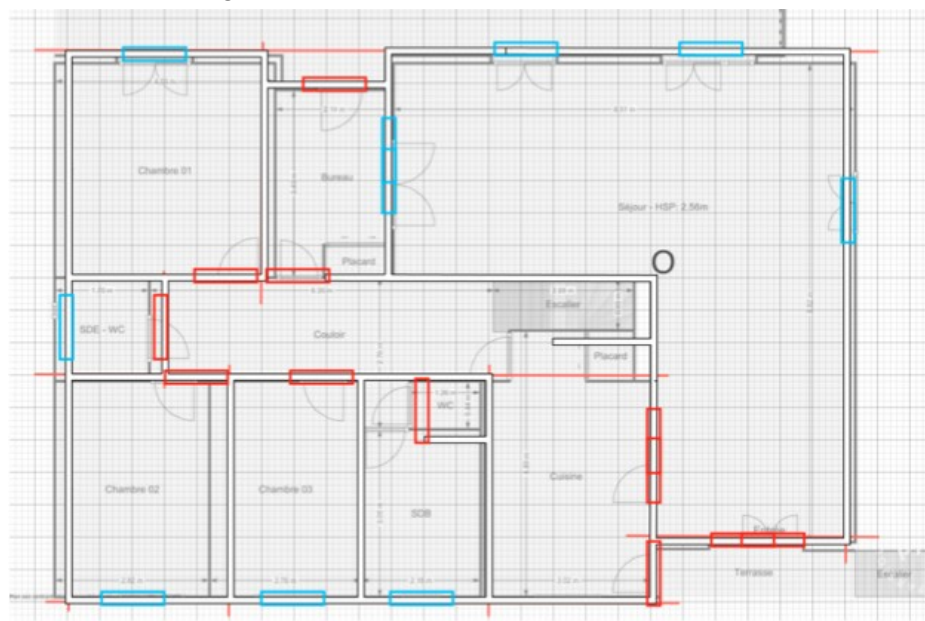
On re-dessine alors les murs en ajustant, "au mieux", leur position sur la trame (en rouge fig 16)

fig. 16



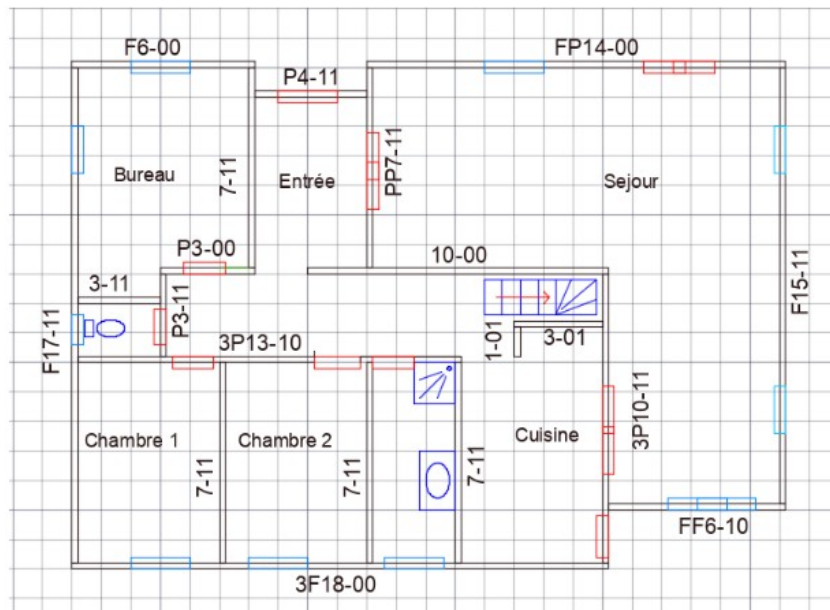
On remplace les portes et fenêtres par les ouvertures voulues (portes rouges, fenêtres bleues), respectant la trame (fig 17)

fig. 17



3. On ajuste les hauteurs sous plafond à 3m, puis introduit des escaliers etc (fig 18)

fig. 18



Enfin on reprend, si nécessaire, le dessin dans un logiciel dynamique (Autocad par exemple) pour y préciser des compléments (finaliser une représentation 3D par exemple).

*Profitions en pour préciser quelques conventions graphiques :*

- Les rectangles rouges (resp. bleus) indiquent des portes (resp. fenêtres) plus ou moins larges.
- Sur un escalier la flèche indique le sens ascendant.
- La terminaison des noms de panneaux (-11 etc.) indique la nature des arêtes verticales le limitant (0 pour couvrante et 1 pour couverte).
- Son type désigne le nombre de fenêtres et portes qu'il contient. Par exemple 3F18-00 désigne un panneau de largeur 18 modules contenant 3 fenêtres distinctes et d'extrémités couvrantes (-00), tandis que FF6-10 désigne un panneau de largeur 6 modules contenant une fenêtre large (FF) d'extrémité gauche couverte (1) et d'extrémité droite couvrante (0)

*Remarque :*

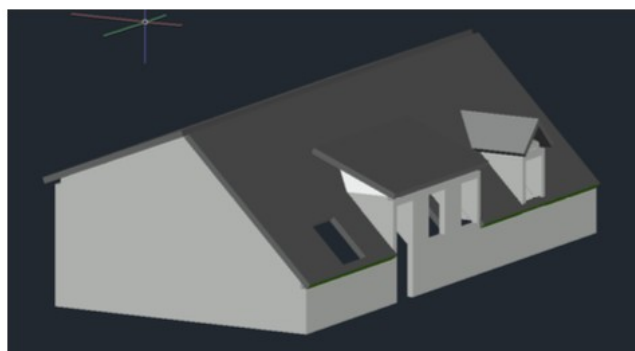
Comme on le voit sur cet exemple, le but de cette « Makitisation » est de respecter l'esprit du plan et la trame modulaire de la construction, plus que l'exactitude des dimensions du plan original.

Dans ce paragraphe on donne des précisions techniques permettant notamment une fabrication artisanale des maquettes utilisant essentiellement des plaques en pvc expansé ou panneau MDF de 3mm et quelques éléments obtenus par impression 3D

#### 1. Panneaux, murs, cloisons, sols, toitures

Les plaques de pvc expansé (3mm) servent à réaliser les sols et les murs.

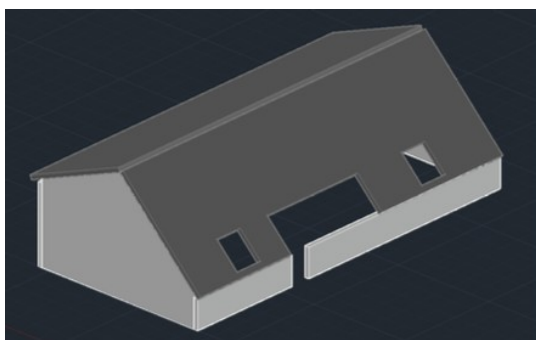
Les murs sont, selon leur orientation, des rectangles de hauteur  $19e=57mm$  (du sol au plafond), ou des trapèzes respectant la trame modulaire carrée de 15mm d'arête, ce qui limite un peu les innombrables choix possibles. Les toitures, d'épaisseur plus fine (1.2mm), sont des rectangles inclinés percés par des ouvertures rectangulaires recevant des fenêtres de type «vasistas, lucarne ou chien-assis». Leurs implantations et dimensions sont nombreuses mais régulées par la trame modulaire.



19-Lucarnes



20-Supports



21-Ouvertures



22-Découpes

#### 2. Tenons, goupilles, tourillons, entretoises et bordures de panneaux

Les panneaux sont assemblés entre eux par des tenons s'insérant dans des mortaises. Il s'agit de petites goupilles cylindriques de diamètre 1.5mm et de longueur 10mm ayant essentiellement deux fonctions :

- Les **tourillons** lient entre eux les murs le sol et les cloisons. Les éléments de chaque étage forment alors un bloc indépendant qu'on nomme  $E_0$ ,  $E_1$ , etc. ( $E_n$ =étage n).
- Les **entretoises** utilisent ces goupilles comme liaison cylindriques verticales permettant d'ajuster les étages correctement l'un au-dessus de l'autre. Fixées sous le sol de l'étage supérieur elles s'insèrent librement dans une mortaise de l'étage inférieur assurant ainsi son bon empiement : chaque niveau d'une maison est alors un bloc indépendant qu'on peut déplacer pour accéder au niveau inférieur.
- *Quelques remarques* - Les tourillons liant deux étages successifs sont solidaires de l'étage supérieur, ce qui permet de l'ajuster quand on "empile" plusieurs niveaux.
- - Pour positionner correctement un étage sur le précédent deux entretoises sont en principe suffisantes mais dans la pratique trois ou quatre assurent une meilleure stabilité.
- - Les sols seront souvent réalisés en plastique transparent (pvc ou PMMA), ce qui permet de voir par transparence différents niveaux du bâtiment.



### 3. Objets 3D :

Une fois réalisée la maquette par l'assemblage des sols, murs et toitures on doit l'habiller avec des objets fixes ou mobiles : escaliers, cheminées, lucarnes, mais aussi du mobilier (tables, chaises, lits) ou des personnages.

Ces objets sont fabriqués par impression 3D et se fixent sur la maquette en s'encastrent dans des ouvertures rectangulaires (châssis ou trémie) ou à l'aide des tourillons décrits plus haut venant s'insérer dans les mortaises.

#### 3a. Lucarnes, chiens assis

Lorsque la pente du toit est 5/5, les lucarnes et chiens assis s'appuient sur un support implanté dans la toiture comme indiqué sur les images qui précèdent (fig 4 et 5) et sur les dessins suivants :



fig. 23

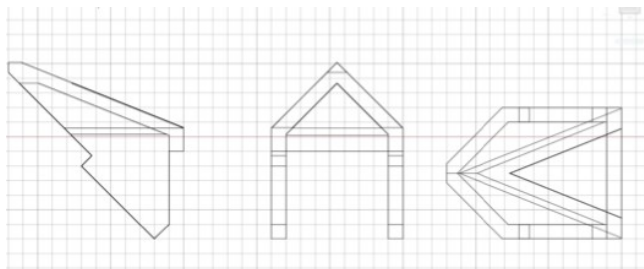


fig 24

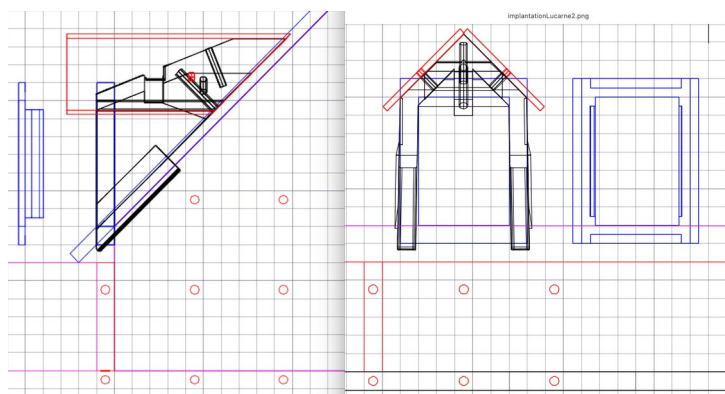


fig. 25 Lucarne

#### 3b. On sélectionne deux modèles d'escaliers : droit et demi-tour :

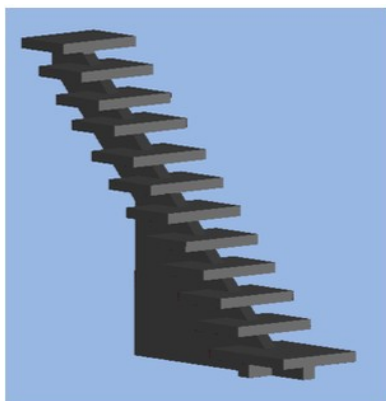


fig.26

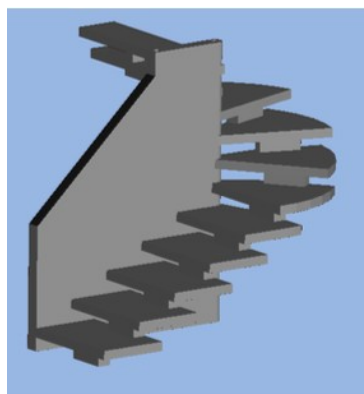
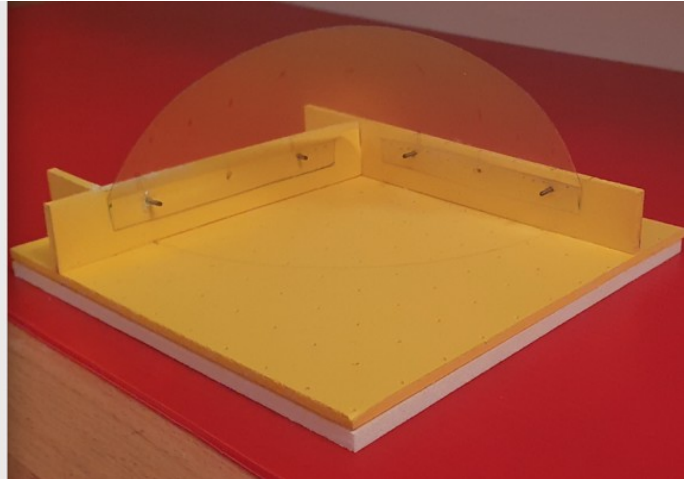
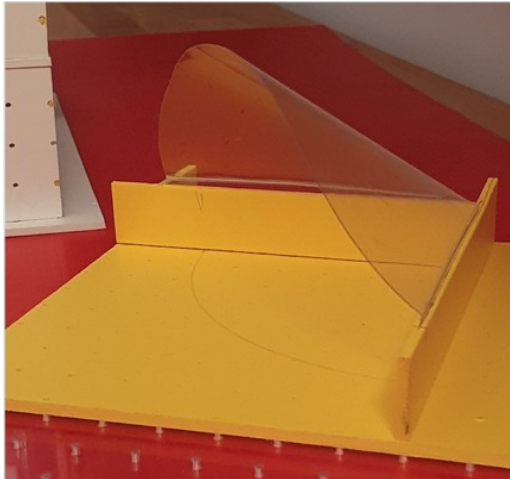


fig. 27

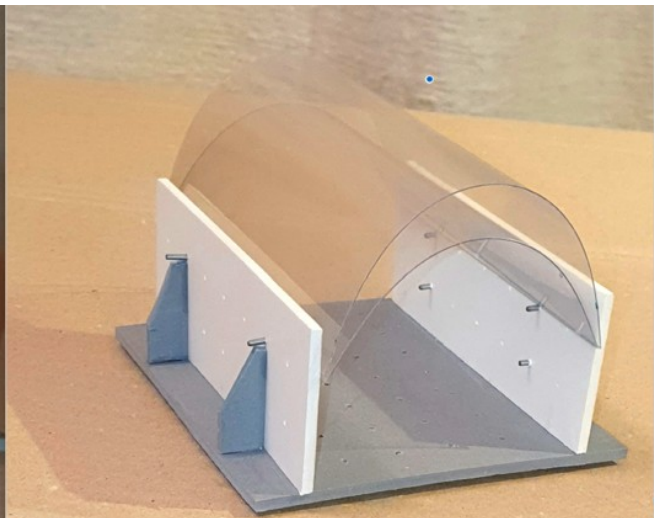
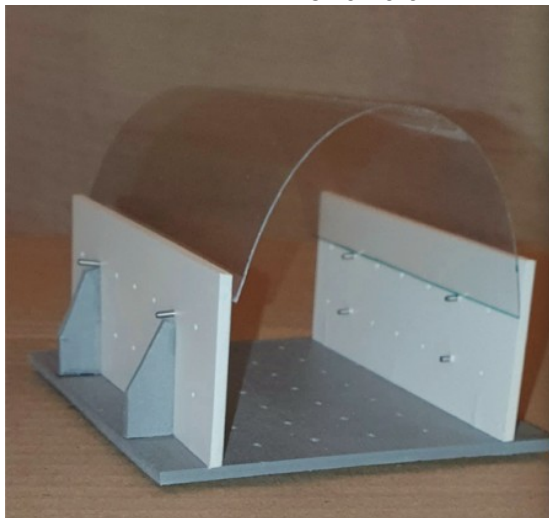
#### 4. Verrière, voutes et surfaces courbes

Les feuilles de pvc d'épaisseur 0.3mm sont suffisamment rigides pour ne pas se froisser mais assez souple pour représenter les formes cylindriques, coniques ou toute surface développable, c'est à dire décomposable en une succession de surfaces coniques (qu'on appellera aussi « verrière »)

Les génératrices d'un cône (ou d'une verrière) sont les lignes droites qu'elle contient. Elles nous serviront d'axes de liaison entre la maquette et la verrière grâce à des suites de rivets régulièrement disposés sur ces génératrices et suivant sur la maquette des lignes de mortaises. En voici quelques exemples



28 verrière 1



29 verrière 2

#### Vitrines

Quelques propriétés de ces verrières

Avantage principal :

Grâce à leur rigidité-souple les verrières reprennent naturellement leur forme plane lorsque qu'elle sont libérées de toute attache. Cela permet de les ranger simplement dans une boîte. Mais si on les maintient courbées en liant deux de leurs génératrices à la maquette, alors les images montrent qu'elles, elles adoptent naturellement une courbure harmonique.

De plus grâce à la tension interne de la feuille de pvc il suffit de fixer la feuille en quatre points pour ajuster sa position.

Inconvénient principal :

Les seules surfaces représentables sont les surfaces dites développable. On ne peut pas représenter un dôme sphérique par cette méthode (impossibilité géométrique, la sphère n'étant pas développable)

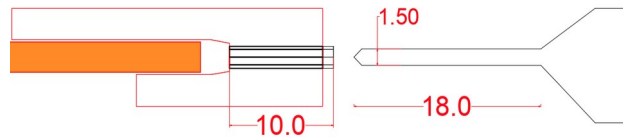
## 5. Perçage et découpe des plaques

### 5b1 Perçage

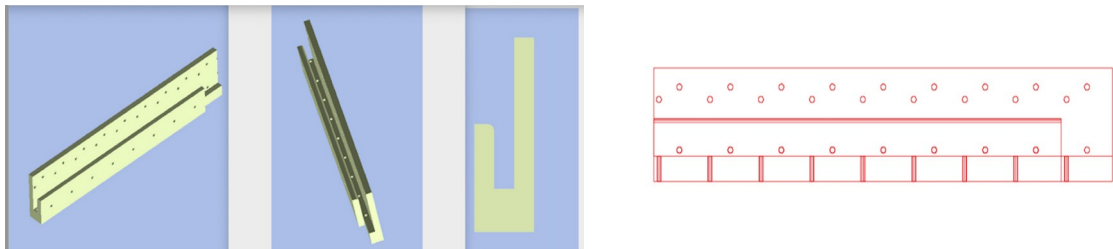
les trous transversaux (mortaises perpendiculaires aux plaques) sont disposés suivant une trame carrée d'arête 15mm. Leur diamètre est de 1.5 à 2.0mm selon le type de tenons retenus et ils sont obtenus à l'aide d'une perceuse numérique

Les mortaises dans les champs des plaques sont des «trous cylindriques » de diamètre D égal à celui des tenons (de 1mm à 1.5mm). On peut les obtenir sans grandes difficultés à l'aide d'un pinceau et d'un gabarit dit « gouttière » :

fig. 30 Pinceau



figures 31. Pinceau et gabarit gouttière Perçage des mortaises dans les champs



### 5b2 Découpe

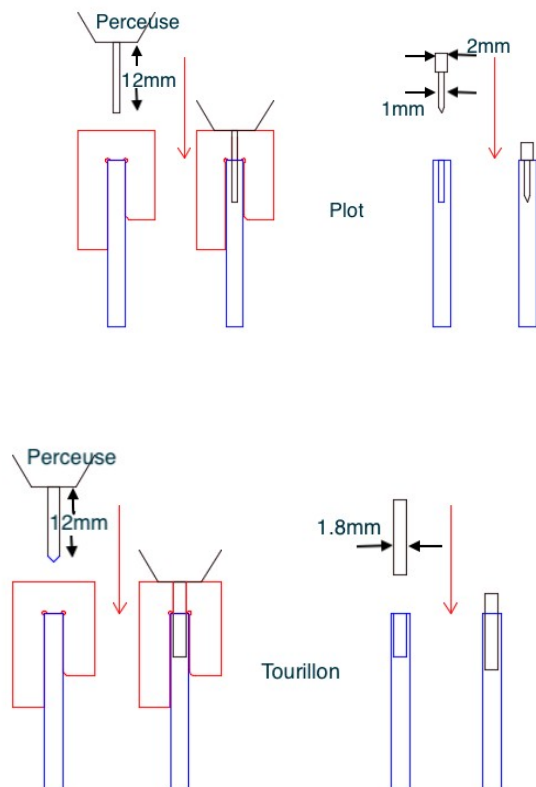
Le pvc expansé ne peut pas se découper par laser (vapeurs toxiques), par contre c'est une matière simultanément rigide et tendre qui se travaille facilement et précisément au cutter. On utilise des plaques d'épaisseur  $e=3\text{mm}$ . Pour découper le contour de chaque pièce on utilise un cutter numérique travaillant avec des dessins au format .dxf ou .pdf. Mais on peut aussi obtenir une découpe manuelle propre en utilisant des gabarits en plastique rigide (PMMA par exemple) permettant de guider une lame de cutter manuel. On peut choisir des sols translucides permettant de voir simultanément plusieurs niveaux. Les ouvertures (portes, fenêtres et trémies d'escalier ) sont des rectangles découpés dans les panneaux, dont la position exacte est déterminée par la trame carrée des mortaises. On y insère des objets obtenus par impression 3D (portes et fenêtres, escaliers etc.).

Pour être découppable par laser, les surfaces de toiture sont polypropylène (pp) d'épaisseur 1.2mm pour obtenir une bonne rigidité tout en restant pliable et découppable au cutter (fourni par exemple par Polydis)

**Bordures de panneaux (ne pas en parler ici)**

Pour éviter que les mortaises en bordure de panneau soient trop près de l'arête on éloigne celle-ci de 0.5mm par rapport à sa position théorique (arêtes couvrantes). Bien sûr pour la cohérence géométrique on rapproche les arêtes couvertes de 0.5mm, ce qui permet aussi d'absorber les petites variations de l'épaisseur des plaques de pvc expansé (variant entre 2.8mm et 3.2mm)

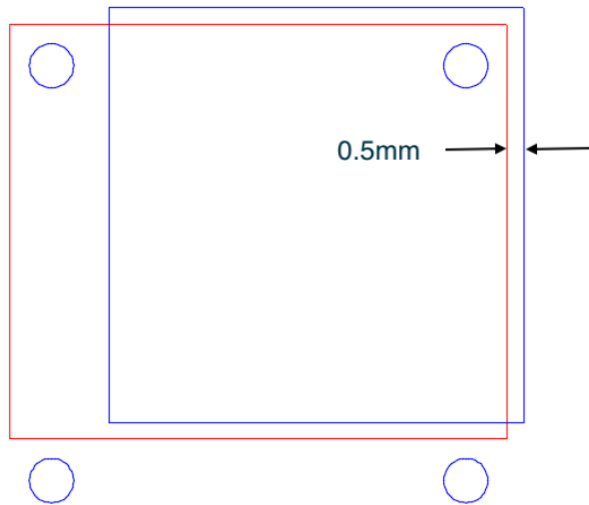
On propose deux versions pour les tenons : soit des tourillons creux, cylindriques de diamètre 1.8mm et longueur 12mm réalisés dans un tube en PTFE, soit des plots c'est à dire des épingles à tête cylindrique dont la tige est de diamètre 1mm. *Dessin à modifier*



**2. Bordures de panneaux**

Les bordures de panneaux couvrantes (voir page 1) sont percées par des trous de diamètre 1.5mm un peu proche du bord. Pour les éloigner on élargit un peu les panneaux (0.5mm) pour ces bordures suivant le schéma ci-dessous où les quatre disques représentent les mortaises de la trame, en rouge apparait la ligne de découpe théorique et en bleu la ligne de découpe réelle, après la modification par décalage. Bien sûr cette modification n'introduit pas d'incompatibilité pour l'assemblage de la





### 3. Ajout de mobilier et objets 3D

Les différentes ouvertures faites dans les sols et les murs permettent d'y insérer des portes et fenêtres mais aussi des escaliers ou d'autres éléments mobiliers se fixant dans la maquette grâce aux tenons et mortaises.

En voici quelques exemples

Escaliers droit , quart de tour ou demi tour.

Fig 8a

image 3D et photo

Chien Assis Escalier 180 Fenetre

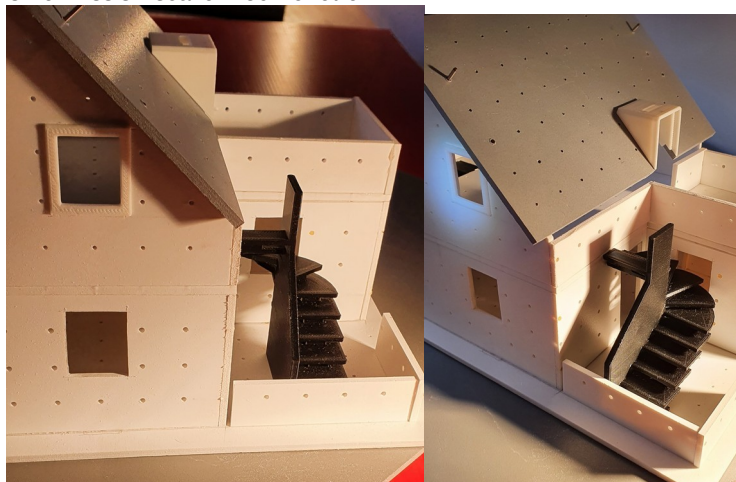


Fig. 9a

Fig. 9b

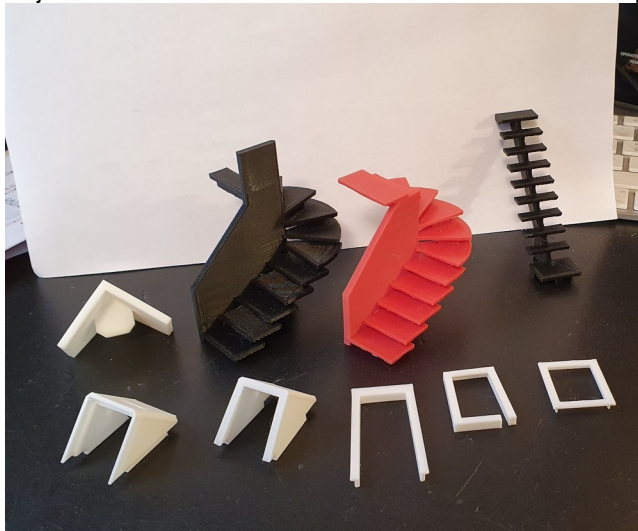


Fig 8a

Fig 8b

Fig. 10

Objets 3D : Chassis fenêtres et portes, Toitures de chien assis



Chassis de portes et fenêtres

Mobilier usuel : tables, chaises, armoires etc.  
personnages assis ou debout