

Multifonctionnalité dans la fabrication
d'éléments bois grâce à la robotique

wood | flex | 32

Offre Nr.	Multifonctionnalité dans la fabrication d'éléments bois grâce à la robotique
Nom du projet	Descriptif outil et séquence de fabrication de paroi type
Type d'installation	wood flex 32
Contact:	Wood Unlimited AG Ludovic RESCH Kriegstettenstrasse 54 4563 Gerlafingen Tel : 079 936 11 45, Fax : 032 675 76 93 Nr TVA 536 862
Date	24.11.2010

Table des matières

INTRODUCTION	4
1 PRÉSENTATION DU PROGRAMME DE RECHERCHE	5
1.1 LES PARTENAIRES	5
1.2 LE PROJET	5
1.2.1 <i>Etat de l'art des structures possibles</i>	5
1.2.2 <i>L'installation</i>	5
1.2.3 <i>Modules envisagés</i>	7
1.2.4 <i>Logiciel et format de transfert</i>	7
2 MODULE PAROI	7
2.1 GÉNÉRALITÉS.....	7
2.2 PROCESSUS	7
2.3 PINCES ET OUTILS	8
2.4 STATION DE MESURE	8
3 MODULE ISO – USINAGE D'ÉLÉMENTS MASSIFS	9
3.1 GÉNÉRALITÉS.....	9
3.2 MAGASIN D'OUTILS	10
4 SÉCURITÉ	10
4.1 GÉNÉRALITÉS.....	10
4.2 AU NIVEAU DE L'INSTALLATION	10
5 FORMAT DE TRANSFERT DE DONNÉES	12
5.1 GÉNÉRALITÉ	12
5.2 XML GALIMBERTI VERSION 2.0	12
5.3 ET ENSUITE.....	14
6 GBS, LOGICIEL POUR PILOTER L'INSTALLATION	14
6.1 GÉNÉRALITÉS.....	14
6.2 TRAVAUX POSSIBLES	16
6.3 SÉCURITÉ.....	16
7 ESSAIS ET RÉSULTATS	16
7.1 GÉNÉRALITÉS.....	16
7.2 ESSAIS POUR LE MODULE PAROI.....	16
7.2.1 <i>Essais calepinage de panneau</i>	16
7.2.2 <i>Essais de clouage</i>	17
7.2.3 <i>Essais de sciage et fraisage</i>	18
7.2.4 <i>Bilan des essais préliminaires pour le module paroi</i>	18
7.3 ESSAIS POUR LE MODULE USINAGE CAM	19
7.3.1 <i>Premiers essais</i>	19
7.3.2 <i>Essais cycliques</i>	19
7.3.3 <i>Problèmes rencontrés et solutions utilisées</i>	20
7.3.4 <i>Bilan des essais cycliques</i>	20
8 PROJET ET CALENDRIER	21
8.1 GÉNÉRALITÉS.....	21
8.2 DIVISION DU PROJET ET MÉTHODE	21
8.3 CALENDRIER	23
8.4 RAPPORT DES HEURES	24

BILAN FINAL	26
ANNEXES	26
ANNEXE A	26
ANNEXE B	26

Table des figures

Figure 1 : Exemple de structures types	5
Figure 2 : Robot final avec la configuration proche de celle choisi par MTB	6
Figure 3 : woof flex 32 chez Wood Unlimited.....	6
Figure 4 : Organisation d'une paroi.....	7
Figure 5 : Les pinces et outils de l'installation : (a) pince vacuum, (b) pince à griffes, (c) double électro-broche, (d) station de mesure, (e) magasin d'outils et (f) électro-broche 16kW	9
Figure 6 : Exemple de poutre demandant l'utilisation 5 axes.....	10
Figure 7 : Pupitre de commande de l'installation	11
Figure 8 : Plan de la sécurité dans la halle de MIVELAZ	11
Figure 9 : Exemple d'un segment (sciage ou fraisage) et de quelques paramètres.....	14
Figure 10 : Le client	15
Figure 11 : pick'n place panneau OSB : (a) prise d'un panneau OSB sur la palette, (b) déplacement vers la station de mesure avec le panneau sous la pince, (c) mesure à la station et (d) positionnement précis sur l'ossature ..	17
Figure 12 : Exemple de positionnement de panneaux à faible densité : (a) prise d'un panneau à faible densité, (b) déplacement vers la station de mesure, (c) mesure à la station et (d) repositionnement plus précis avec les pousseurs latéraux.....	17
Figure 13 : Exemple d'agrafage avec la pince à vacuum.....	18
Figure 14 : Exemple de sciage avec la double électro-broche	19
Figure 15 : Quelques étapes d'usinages réalisés.....	21
Figure 16 : Perçage d'un angle en deux étapes.....	21
Figure 17 : Centre Pompidou à Metz en Juin 2009	26

Introduction

L'industrie de la construction bois est un secteur ayant des besoins spécifiques. Contrairement au domaine de la mécanique il n'y a pas de phase de prototypage des pièces pour ensuite alimenter des usines produisant ces mêmes pièces en grande quantité. Les opérations sont alors identiques d'une pièce à l'autre et chaque machine réalise une tâche bien spécifique. Transposer cette méthodologie à l'industrie de la construction bois ne fonctionne pas. En effet, chaque ouvrage réalisé, et par conséquent chaque élément de cet ouvrage, est spécifique. L'industrie du bois se trouve pour ainsi dire en permanence dans une phase de prototypage dans laquelle une erreur d'usinage peut fortement diminuer les marges réalisées par l'entreprise.

La mécanisation de l'industrie de la construction bois a été possible grâce à des machines de taille facilement reprogrammables ainsi qu'à une amélioration du transfert du CAD vers les machines de taille. La facilité de ce transfert ainsi que la diminution du temps de programmation ont été rendus possibles grâce à des outils de CAM de plus en plus puissants.

De nombreuses machines de taille ont ainsi été conçues pour répondre au besoin des entreprises. Elles effectuent des usinages différents sur des pièces de géométries différentes en un minimum de temps. Les fabricants les plus représentatifs sont Hundegger pour la taille de charpentes ou CMS pour la taille de gros porteurs en bois lamellé-collé. De plus des machines permettant l'assemblage de parois préfabriquées comme les tables Weinmann sont apparues.

De telles machines sont très onéreuses. Ainsi, les petites et moyennes entreprises pour éviter des investissements trop importants se sont petit à petit spécialisées dans un seul secteur d'activité. Or les constructions allient souvent différentes technologies comme des parois en ossature bois et une charpente en bois lamellé-collé. Les petites et moyennes entreprises ne peuvent alors pas répondre à de tels marchés, ou se trouvent contraintes à sous-traiter.

Afin de limiter l'investissement des entreprises il apparaît nécessaire de pouvoir effectuer ces différentes opérations, à savoir la taille de pièces de charpentes ou de gros porteurs ainsi que l'assemblage de parois, sur une même machine. Ainsi, une augmentation de la flexibilité des petites et moyennes entreprises leurs permettra d'accéder à de nouveaux marchés. Pour atteindre ces objectifs, le développement d'une machine spécialisée pour le secteur global de la construction bois est nécessaire. Cette machine doit pouvoir réaliser des opérations de taille de précision ainsi que le transport de pièces et leur assemblage. L'option d'un robot cartésien apparaît comme étant la plus judicieuse en offrant notamment une surface de travail bien supérieure à celle d'un bras poly-articulé.

La problématique actuelle réside autant dans la conception du robot et de ses agrégats qui doivent allier vitesse d'exécution, robustesse, précision et flexibilité, que dans le développement d'outils de pilotage et de transfert de données.

Les principaux objectifs du projet sont :

- Conception et dimensionnement du robot en statique et en dynamique en fonction des efforts de coupe lors de l'usinage ainsi que des charges à transporter.
- Conception et développement de pinces et d'agrégats nécessaires à des travaux spécifiques tels que le clouage, positionnement...
- Développement d'un format de transfert de données qui sera lu par le logiciel de contrôle du robot. Celui-ci permettra la lecture et la compréhension des données relatives aux opérations à exécuter (usinage, transport et assemblage) ainsi que leur séquençage.

1 Présentation du programme de recherche

1.1 Les partenaires

Le projet est coordonné par Wood Unlimited AG (WU), solution robotique Suisse (<http://www.wood-unlimited.com>)

Les partenaires sont :

- Lignocam SA (LC), logiciel de CAM (<http://www.lignocam.com>)
- Mivelaz Technique Bois SA (MTB), producteur de parois préfabriquées et taille de charpente et acquéreur du **wood | flex | 32** (<http://www.onlywood.ch>)
- Güdel SA (GU), composant, module, robotique et système (<http://www.gudel.com>)
- Cadwork SA (CW), logiciel de CFAO (<http://www.cadwork.com>)

Le projet repose sur la conception, la réalisation et le pilotage d'un portique robotisé multifonction pour la construction d'éléments en bois. **wood | flex | 32** peut réaliser des éléments de type ossature bois et usiner des éléments massifs comme des poutres lamellées collées de grandes portées. Ainsi des murs ossature bois, des structures bois constituées de plusieurs couches d'éléments, des éléments massifs peuvent être réalisés en toute autonomie avec cette installation automatisée.

1.2 Le projet

Le projet consiste à effectuer avec l'installation **wood | flex | 32** deux approches :

1. Conception et réalisation de paroi ossature bois :
 - a. les parois sont conçues dans un logiciel de CFAO (Cadwork) avec l'ensemble des travaux nécessaires (Calepinage, Clouage, Sciage, Fraisage, Marquage...)
 - b. exportées pour être interprétées par le logiciel GBS qui pilote le robot.
2. Conception et taille de charpente :
 - a. les éléments sont également conçus dans un logiciel de CFAO (Cadwork)
 - b. exportés vers un logiciel CAM (Lignocam) qui détermine la manière de les usiner avec la génération d'un fichier en ISO code
 - c. ensuite, ce dernier est interprété dans GBS pour piloter le robot

La suite de la section détaillera chacun des points nécessaires pour l'aboutissement du projet.

1.2.1 Etat de l'art des structures possibles

MTB souhaite réaliser des structures simples facilement industrialisable, mais également des structures complexes et uniques (selon le souhait du client) tout en gardant la même réactivité.

La figure suivante désigne deux exemples de structures types réalisées par MTB.

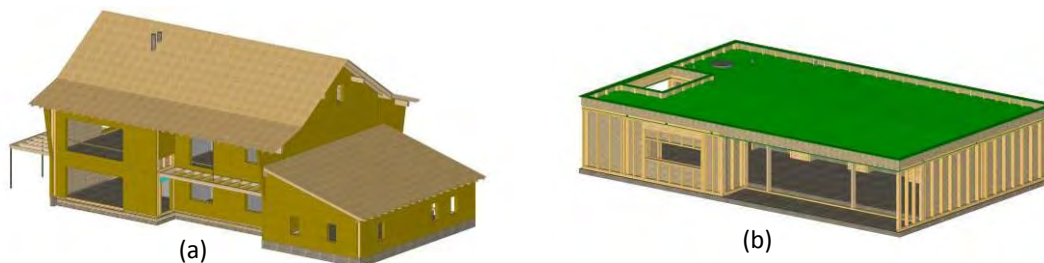


Figure 1 : Exemple de structures types

1.2.2 L'installation

Le **wood | flex | 32** est monté par les soins de Güdel AG. L'installation est composée d'un portique pouvant se déplacer dans les 3 principales directions cartésiennes et d'une tête multiaxe, aboutissant ainsi à un robot 6 axes.

La figure suivante donne un aperçu de l'installation pour MTB.

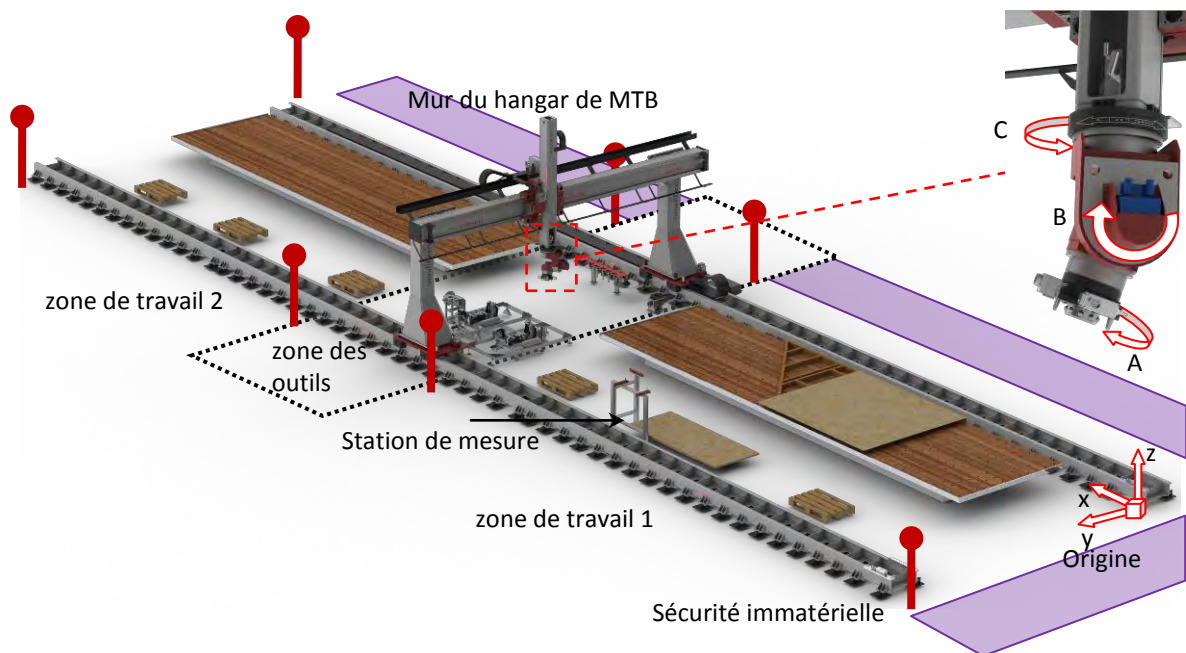


Figure 2 : Robot final avec la configuration proche de celle choisi par MTB

Cette installation est composée :

- De deux rails de 32m de long (Axe X) avec un portique dont la traverse (Axe Y) supporte l'axe Z. Au bout de celui-ci une tête 3 axes (C, B, A) permet d'avoir accès à toutes les positions nécessaires dans l'installation.
- De deux zones de travail limitées par des barrières de sécurité immatérielles. Chaque zone comporte une table papillon et un espace réservé pour les consommables (panneaux...). De plus chaque zone possède une station de mesure pour calibrer le panneau pris sous la pince de préhension...
- D'une zone d'outils contenant les éléments suivants :
 - Pince de préhension par vacuum pour les panneaux de densité élevée
 - Pince de préhension par griffes pour les panneaux de densité faible (isolation...)
 - Double électro-broche 12kW pour l'usinage simple des ossatures
 - Simple électro-broche 16kW pour l'usinage de poutres et pièces complexes
 - Magasin d'outils pour l'électro-broche 16kW contenant 12 places

La figure suivante présente l'installation chez Wood Unlimited.



Figure 3 : woof | flex | 32 chez Wood Unlimited

1.2.3 Modules envisagés

Pour la réalisation de parois et de taille de charpente, il en ressort 2 principaux modules :

1. Module paroi (§2) : réalisation d'une paroi,
2. Module ISO (§3) : usinage d'élément de charpente plus ou moins complexe.

1.2.4 Logiciel et format de transfert

En partenariat avec une entreprise italienne – Galimberti, un logiciel, nommé GBS (§5), est conçu pour aider et simplifier le pilotage du robot pour la réalisation des travaux nécessaires.

2 Module paroi

2.1 Généralités

Chacune des parois est organisée sous forme de couches (layer) contenant des éléments adéquats. Les différentes couches sont (Figure 4) : ossature, calepinage des panneaux, clouage, sciage, fraisage et marquage.

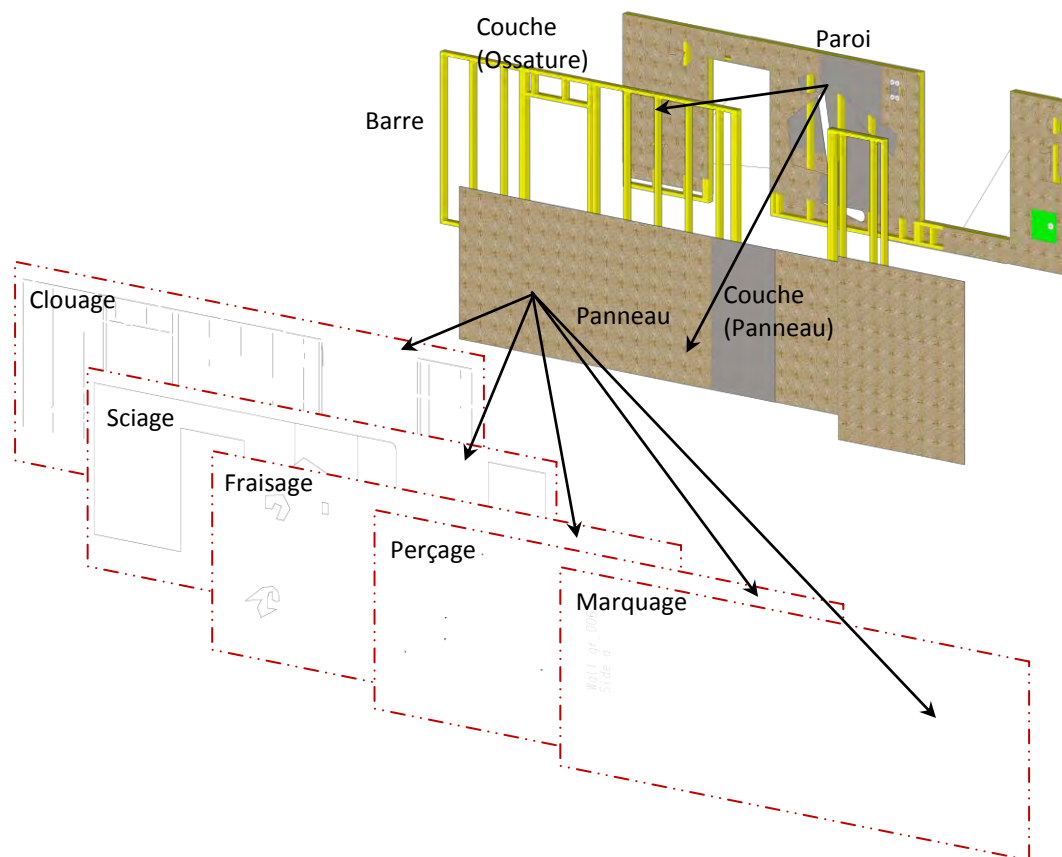


Figure 4 : Organisation d'une paroi

2.2 Processus

La philosophie pour la réalisation de parois est la suivante :

1. Conception des parois dans un logiciel de CFAO (Cadwork) et export vers GBS.
2. Les opérateurs fabriquent l'ossature sur une des tables papillon présente dans l'installation
3. Le robot interprète le fichier provenant de cadwork et calcul les déplacements du robot
4. Un opérateur donne l'ordre au robot d'effectuer les travaux nécessaires pour couvrir la face de l'ossature (pick'n place, clouage, marquage, sciage et fraisage)
5. Il est possible que de temps en temps pour des cas précis, le robot attende une action humaine pour placer des petits éléments avant que le robot ne les cloue.

6. Une fois la face achevée, le robot attend que les opérateurs retournent la paroi pour réaliser, s'il y a lieu, la seconde face.
7. Après retournement, le robot continue la réalisation des travaux nécessaires sur la seconde face

2.3 Pincés et outils

Pour effectuer correctement les tâches présentées précédemment, le robot est muni de plusieurs outils :

1. La pince de préhension par vacuum : prise des panneaux de haute densité (OSB, Fermacell...). Cette pince contient :
 - a. 8 ventouses pour prendre les panneaux
 - b. 2 cloueurs et/ou agrafeuses
 - c. 1 stylo pour le marquage
 - d. 1 laser pour indiquer la position des éléments se trouvant dessous (prise du panneau par exemple)
2. La pince de préhension par griffes : prise des panneaux de faible densité (Isolation, Pavatex, Gutex...). Cette pince est composée de :
 - a. 6 griffes pour prendre les panneaux de faible densité
 - b. 2 agrafeuses
 - c. 1 stylo pour le marquage
 - d. 1 laser pour indiquer la position des éléments se trouvant dessous (prise du panneau par exemple)
3. La double électro-broche 12kW permettant de scier et fraiser, elle contient donc :
 - a. Une fraise permettant la réalisation de poches et de contours
 - b. Une scie permettant de nettoyer les bords des panneaux et les ouvertures (emplacement fenêtre, porte...)
4. Une électro-broche de 16kW permettant de scier, fraiser, percer et autre selon les outils présents dans le magasin. Cette électro-broche n'est pas souvent utilisée dans ce cas de figure, car le double réalise 98% des travaux nécessaires pour l'ossature (sciage, fraisage).

2.4 Station de mesure

Le positionnement des palettes n'étant pas forcément assez précis, une fois qu'un panneau est pris par une des deux pinces de préhension, celle-ci doit aller calibrer le panneau à l'aide de la station de mesure pour connaître avec précision le positionnement du panneau sous la pince, ainsi il pourra par la suite le placer sur l'ossature avec exactitude.

Cette station permet de mesurer principalement des panneaux de grandes dimensions. Toutefois par la flexibilité de l'installation, il est possible de déplacer sur le support, les capteurs de mesures pour réduire l'espacement entre eux.

La figure suivante indique les différentes pinces et outils nécessaires et présents dans l'installation.

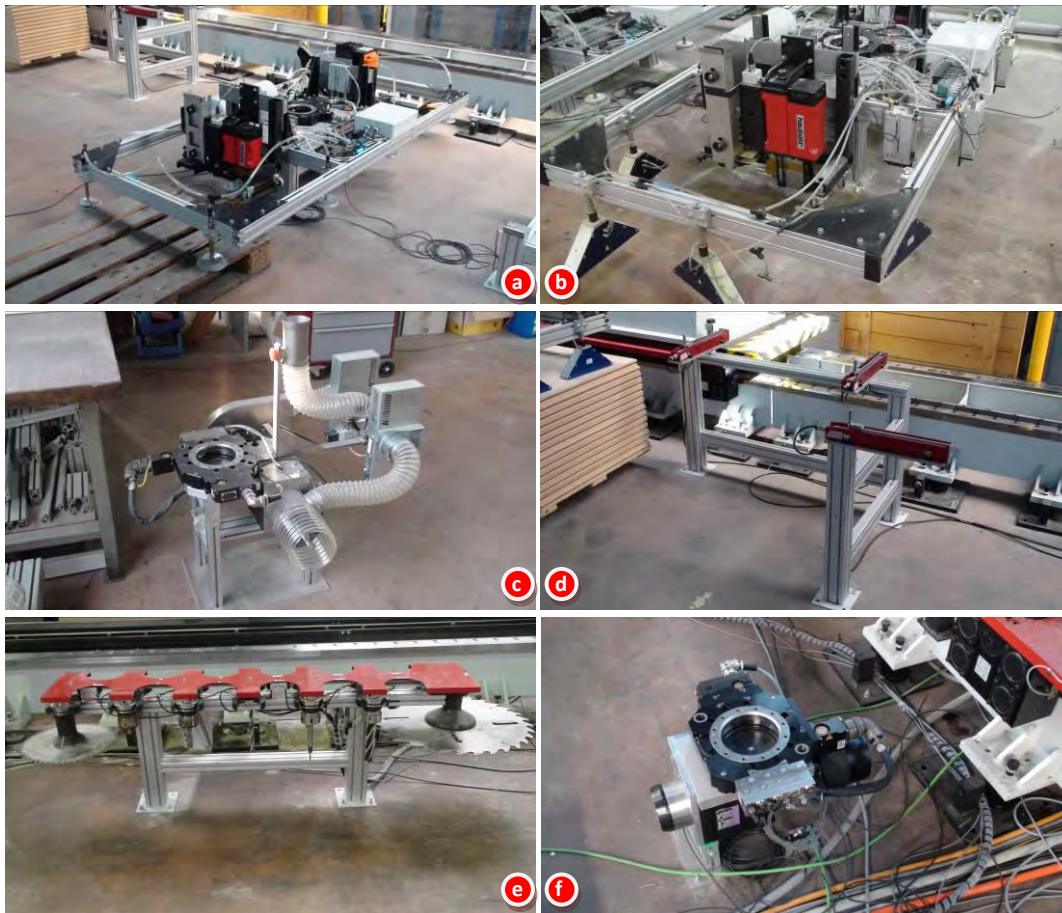


Figure 5 : Les pinces et outils de l'installation : (a) pince vacuum, (b) pince à griffes, (c) double électro-broche, (d) station de mesure, (e) magasin d'outils et (f) électro-broche 16kW

3 Module ISO – usinage d'éléments massifs

3.1 Généralités

Pour la taille de charpente, la philosophie est la suivante :

1. Conception de la pièce dans un logiciel de CFAO (Cadwork), dimensions et détermination des usinages nécessaires.
2. Export vers un logiciel de CAM (Lignocam) qui interprète les données pour déterminer la position de la tête du robot et calcule le déplacement (le chemin) de celle-ci. Les informations utiles sont sauvées dans un fichier exprimées en ISO code.
3. Ce fichier est ensuite interprété par GBS qui recalcule en fonction des chemins et des outils le positionnement des axes.
4. Une fois la pièce placée avec précision dans l'installation ainsi que dans le modèle, l'opérateur peut ordonner au robot d'effectuer les différents travaux attendus.

La figure suivante présente un exemple de pièce demandant la mobilisation de 5 axes du robot.



Figure 6 : Exemple de poutre demandant l'utilisation 5 axes

3.2 Magasin d'outils

Pour l'exécution efficace et précise des usinages, l'électro-broche de 16kW est munie d'un système HSK F80 rapide et automatique, qui permet au robot d'aller placer/prendre l'outil nécessaire dans le magasin (Figure 5 (e)). Celui-ci est composé des outils suivants :

1. Scie de 350mm de diamètre
2. Scie de 600mm de diamètre
3. Fraise de 40mm de diamètre
4. Fraise de 25mm de diamètre
5. Mèche de 10mm de diamètre
6. Mèche de 12mm de diamètre
7. Mèche de 16mm de diamètre
8. Mèche de 20mm de diamètre

4 Sécurité

4.1 Généralités

L'utilisation d'une telle installation nécessite de prendre des précautions et de garantir la sécurité des opérateurs qui sont amenés à traverser la zone de travail du robot. Pour cela, l'installation contient plusieurs éléments permettant de faciliter et d'assurer la sécurité :

- Barrière immatérielle
- Bouton d'arrêt d'urgence
- Câble d'arrêt d'urgence
- Coussin de sécurité (Bumper)

Ces éléments sont placés en lieu et place adéquat.

4.2 Au niveau de l'installation

L'installation est située dans un angle du bâtiment afin d'avoir un maximum de place libre dans le reste du hangar. Cela implique que deux côtés sont condamnés dont la porte (5). Les barrières immatérielles présentent l'avantage de pouvoir très facilement être désactivées par l'opérateur dans la zone où le robot ne travaille pas. Une attention particulière devra être observée par l'opérateur qui pilotera le robot et qui désactivera les barrières.

Le plan de la figure 8 représente la halle de MTB, et décrit les lieux où se situent les barrières immatérielles. La zone d'entrée (du stockage des outils) entre les rails du robot contient deux barrières immatérielles ([2] et [3]) permettant le basculement simple entre une zone et l'autre. Une barrière [1] est également placée à la fin du robot n'étant pas en contact avec le bord du bâtiment. Enfin deux barrières ([4] et [5]) sont placées le long du rail afin d'empêcher tout risque de pénétration impromptue. Elle est constituée de deux parties afin de pouvoir désactiver seulement un côté, ce qui confère une grande flexibilité lors du travail.

De plus, des arrêts d'urgence sont mis à plusieurs endroits stratégiques (Figure 8). Ainsi, ils sont placés sur chacune des tables papillon par le biais de cordes qu'il suffit de tendre pour activer l'arrêt d'urgence et sur le

pupitre de commande sous forme de bouton. Le portique est équipé de coussins de sécurité permettant d'arrêter le portique en pleine vitesse. Lorsque les coussins sont activés le robot s'arrête sur 100 mm. (Figure 8). Ces coussins se situent devant et derrière les chariots des portiques au niveau du rail.



Figure 7 : Pupitre de commande de l'installation

Le pupitre de commande se trouve au plus près des barrières, limitant ainsi la perte de place dans le bâtiment, ce pupitre contient les armoires de commande du **wood | flex | 32**. Une structure ossature bois vient se placer entre les armoires et les barrières dans le but d'éviter tout problème de projection. La partie supérieure de cette structure sera munie de parement transparent (« plexiglas ») pour visualiser l'ensemble du robot.

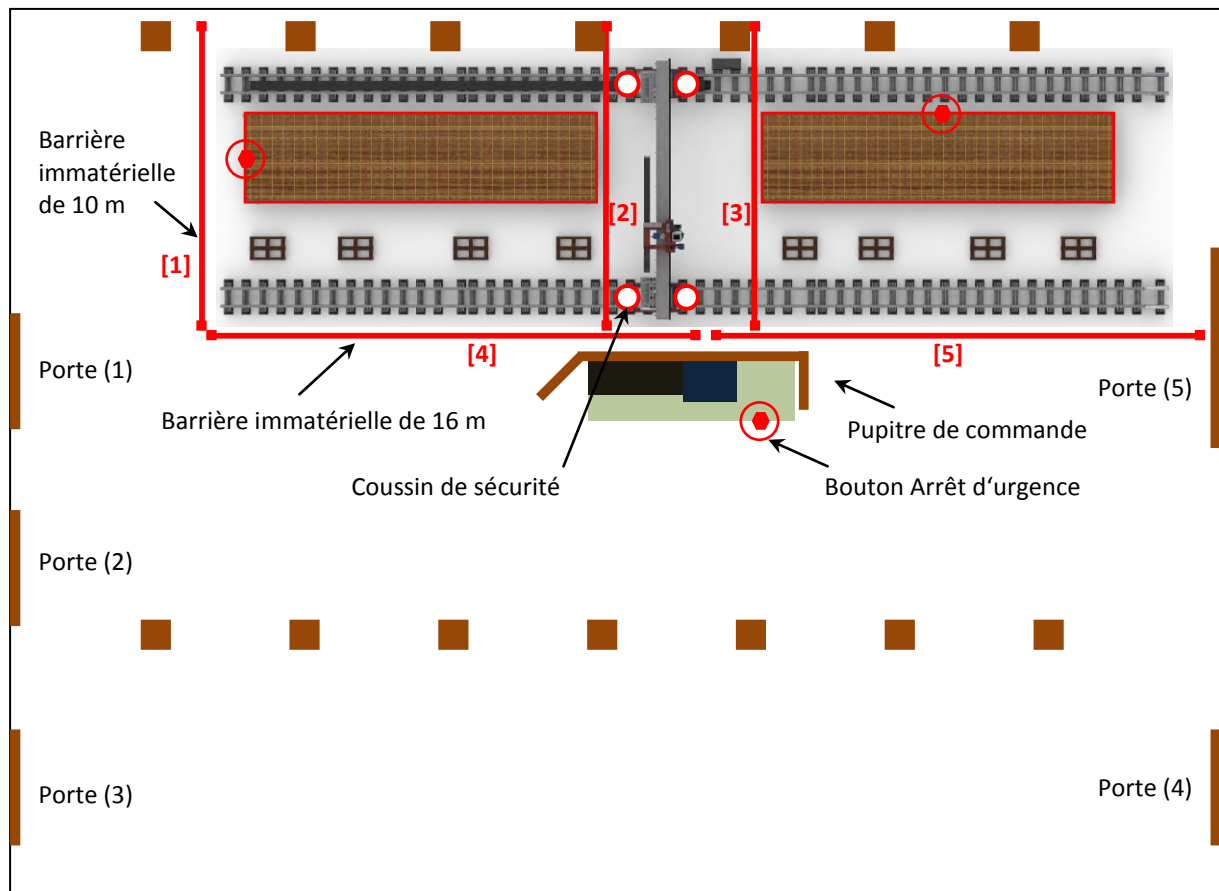


Figure 8 : Plan de la sécurité dans la halle de MIVELAZ

5 Format de transfert de données

5.1 Généralité

Grace à un groupe de travail coordonné par Wood Unlimited AG avec Cadwork et Galimberti, une première version d'un format de transfert de données entre cadwork et GBS est créée. Ce format est organisé selon le langage informatique XML : xml Galimberti 1.0.

Ce fichier permet de transférer des informations sur les éléments volumiques (barre et panneau) ainsi que pour les différents travaux possibles.

Cette première version souffrait d'un manque certain d'information sur la manière de placer les panneaux sur l'ossature, du type souhaité de panneau à utiliser... De plus, pour certains usinages : sciage et fraisage notamment, une information sur la manière de commencer et de finir manquait.

5.2 XML Galimberti version 2.0

La conception du format xml Galimberti 2.0 repose sur une refonte complète de la description des éléments sous forme de segment auquel est attribué des informations sur le commencement et la finition d'usinage et le sens de pénétration de la lame de scie ou de la fraise.

Il apparait ainsi le tableau 1 qui donne l'équivalent des éléments/travaux entre cadwork et le fichier xml.

Tableau 1 : travaux et éléments, équivalence

N°	Info from cadwork	XML specifications
1	beam Name Group Subgroup User attr. 1 (level) Material No-Prod Length Width Height	<pre><beam name="lisse" prod-no="21" material="Ossature"> <box length="2.0000" height="0.1200" width="0.0600"/> <transformation> <position x="1.9450" y="1.4946" z="0.1200"/> <length x="1.0000" y="-0.0000" z="-0.0000"/> <width x="-0.0000" y="-1.0000" z="-0.0000"/> </transformation> <polyhedron height="0.1200"> <position x="-0.0000" y="-0.0600" z="-0.1200"/> <position x="-0.0000" y="-0.0000" z="-0.1200"/> <position x="2.0000" y="-0.0000" z="-0.1200"/> <position x="2.0000" y="-0.0600" z="-0.1200"/> </polyhedron> </beam></pre>
2	panel Name: corresponding of the panel type wished Group Subgroup User attr. 1 (level) Material No-Prod Length Width Height	<pre><panel name="TRIPLY" prod-no="0" material="OSB"> <box length="0.9667" height="0.0120" width="1.0000"/> <transformation> <position x="-0.0000" y="0.0000" z="0.1320"/> <length x="-0.0000" y="1.0000" z="-0.0000"/> <width x="1.0000" y="-0.0000" z="-0.0000"/> </transformation> <polyhedron height="0.0120"> <position x="-0.0000" y="-0.0000" z="-0.0000"/> <position x="1.0000" y="-0.0000" z="-0.0000"/> <position x="1.0000" y="0.9667" z="-0.0000"/> </polyhedron> </panel></pre>
3	nail Name : NAIL User attr. 1 (level) User attr. 5 (tool data) TI (tool index) SPACE (between nails)	<pre><nail spacing="0.1500" tool="10"> <up-vector x="-0.0000" y="-0.0000" z="-1.0000"/> <polyline> <straight> <position x="0.9784" y="0.9041" z="0.1320"/> <position x="0.1282" y="0.0822" z="0.1320"/> </straight> </polyline> </nail></pre>
4	mark Name : MARK User attr. 1 (level) User attr. 4 (count) User attr. 5 (tool data) TI (tool index)	<pre><mark tool="1"> <polyline plid= mark_42> <straight> <position x="5.1250" y="0.4907" z="-0.0120"/> <position x="5.1250" y="0.0920" z="-0.0120"/> <position x="5.1250" y="0.0920" z="-0.0120"/> </straight> </polyline> </mark></pre>
5	saw NAME : SAW	<pre><saw tool="1" speed="3000" side="right" deep="0.012"> <polyline plid= saw_42> <segment keep = ++></pre>

<p>User attr. 1 (level) User attr. 4 (count) User attr. 5 (tool data) TI (Tool index) SIDE (blade position compare to the sawing line) KEEP (angle finish) D (deepness of the sawing)</p>	<pre><straight> <position>x= "x1", y= "y1", z= "z1"<\position> <position>x= "x2", y= "y2", z= "z2"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <segment keep = ++> <straight> <position> x= "x2", y= "y2", z= "z2"<\position> <position> x= "x3", y= "y3", z= "z3"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <segment keep = ++> <straight> <position> x= "x3", y= "y3", z= "z3"<\position> <position> x= "x4", y= "y4", z= "z4"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <\polyline> </saw></pre>
<p>6 mill NAME : MILL User attr. 1 (level) User attr. 4 (count) User attr. 5 (tool data) TI (Tool Index) SIDE (Tool correction) KEEP (finishing) D (Deepness) FILL (Filling the closed profile (P1=P4) at xx m or not (0.000 or open profile P1 != P4))</p>	<pre><mill tool= "1" speed= "3000" side= "right" deep= "0.012" fill= "0.010"> <polyline plid= mill_12> <segment keep = ++> <straight> <position>x= "x1", y= "y1", z= "z1"<\position> <position>x= "x2", y= "y2", z= "z2"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <segment keep = ++> <straight> <position> x= "x2", y= "y2", z= "z2"<\position> <position> x= "x3", y= "y3", z= "z3"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <segment keep = ++> <straight> <position> x= "x3", y= "y3", z= "z3"<\position> <position> x= "x4", y= "y4", z= "z4"<\position> <up-vector> x= "x", y= "y", z= "z"<\up-vector> </straight> <\segment> <\polyline> </mill></pre>
<p>7 psl NAME : PSL User attr. 1 (level) User attr. 5 (tool data) SNR (sequence number) MATE (Material) LENGTH (Length panel) WIDTH (width panel) HEIGHT (height panel)</p>	<pre><psl seqnr="1"> <polyline> <straight> <position x="4.7500" y="0.0000" z="-0.0120"/> <position x="6.0000" y="0.0000" z="-0.0120"/> </straight> </polyline> </psl></pre>
<p>8 drill NAME : DRILL User attr. 1 (level) User attr. 5 (tool data) TI (tool index) R (Radius) D (Depth)</p>	<pre><drill tool="1" radius="0.0150" deep="0.0200"> <up-vector x="-0.0000" y="-0.0000" z="1.0000"/> <position x="5.1496" y="0.3752" z="-0.0120"/> </drill></pre>

Le fraisage est composé de 2 parties :

Les limites des paramètres sont les suivantes:

- TI (Tool Index), donne l'indicatif de l'outil utilisé
- SPACE, espacement entre les organes (mm)
- SI (SIDE), donne le positionnement de l'outil par rapport à la direction du travail, les choix possibles sont :
 - R (right) à droite
 - L (left) à gauche
 - M (middle) sur le parcours
- KE (KEEP), donne la position de l'outil qui doit commencer ou finir autour du point étudié. Les valeurs possibles sont : ++, --, +-, -+. Le premier signe est pour le premier point du segment et le second pour le dernier.

- D (Deepness, profondeur), donne la distance de pénétration de l'outil dans le matériau pour le contour.
- FI (FILL), donne la distance de pénétration de l'outil dans le matériau pour l'intérieur du contour
- SNR (Sequence number), donne l'ordre pour réaliser le calepinage les panneaux
- R (Radius), donne le rayon du perçage.

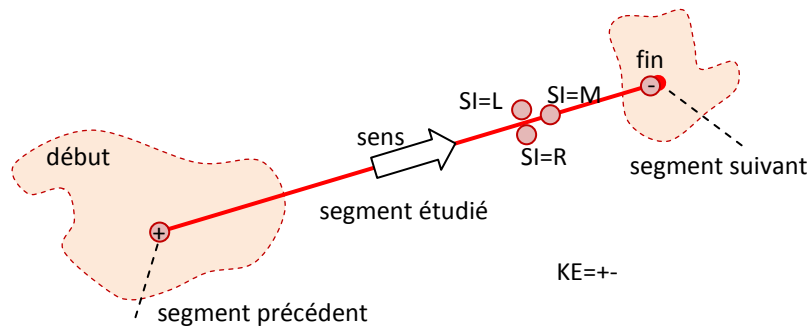


Figure 9 : Exemple d'un segment (sciage ou fraisage) et de quelques paramètres

5.3 Et ensuite...

Les sociétés Cadwork et Sema collaborent ensemble sur la conception d'un format générique pour le transfert machine de données provenant de programme CFAO. Ainsi apparut design2machine et la création d'un nouveau format standard : le btl.

Ce langage comprend les informations nécessaires pour les différents travaux nécessaires pour obtenir la pièce finalisée et/ou la structure finalisée. En effet, il y a les notions de calepinage, de sciage, de fraisage, de clouage, de marquage... permettant la fabrication en toute simplicité.

L'un des intérêts majeurs de ce standard est la génération d'informations sur les travaux indépendants du type de machine. Ainsi, selon les limites de la machine utilisée, les travaux sont identifiés et interprétés au mieux.

Prochainement, le format xml Galimberti 2.0 pourra être remplacé par le standard btl pouvant être généré par les principaux logiciels de CFAO pour la construction bois.

6 GBS, logiciel pour piloter l'installation

Pour piloter le robot, un logiciel dédié est réalisé afin d'avoir exactement les éléments nécessaires souhaités par MTB. Cette section présente les généralités et les possibilités offertes par le logiciel.

6.1 Généralités

Le logiciel doit répondre à ces exigences :

- **Flexibilité** : le logiciel doit parfaitement être en accord avec l'agencement choisi. Cet agencement peut être modifié à tout moment et donc il faut que le logiciel puisse répondre à ces changements. De plus si des outils supplémentaires doivent être utilisés, le logiciel doit pouvoir également en tenir compte et pouvoir les paramétrer pour les commander.
- **Sécurité** : le logiciel doit permettre de garantir la sécurité des opérateurs dans l'espace de travail. Pour cela, le logiciel doit être intimement lié avec le système de sécurité. La sécurité des éléments présents dans l'espace doivent également être prise en compte, donc un système de collision est mis en place afin de limiter les surprises.
- **Communication** : le logiciel doit pouvoir communiquer d'une part avec le robot et d'autre part avec les logiciels tels que cadwork (CFAO) et lignocam (CAM). Pour pouvoir échanger les données, un groupe de travail a été formé entre cadwork, WU et Galimberti pour créer un fichier de type xml selon des spécifications communes. Le logiciel doit également être pourvu des langues standards (allemand, anglais, français & italien). Les unités utilisées doivent être SI et pouvant être changées en mm, degré...

Le logiciel se décline en deux sous programmes :

1. L'**éditeur** qui permet à Wood Unlimited AG de pouvoir configurer, modifier et ajouter les éléments à l'installation. Des bibliothèques de matériaux, de panneaux, de palettes, de containers (matériaux + panneaux (nb) + palette). La configuration des vitesses caractéristiques propres aux outils selon le matériau et/ou le type de panneau est également possible. Pour affiner le positionnement des panneaux, des chemins de pause sont créés pour chaque type de panneaux/matériaux. Des chemins similaires sont utilisés pour finir le placement des panneaux à rainure-languette, pour prendre les panneaux, pour prendre et reposer les agrégats.
2. Le **client** ou « **player** » permet de simuler et/ou de piloter le robot en réel afin d'effectuer les opérations choisies. L'opérateur peut également déplacer des éléments de l'interface dans le logiciel pour avoir à tout moment la possibilité d'avoir une bonne correspondance entre la réalité et le modèle 3D.

La figure suivante indique les principales zones d'action du logiciel :

1. **Menu** : sélectionner les tâches courantes pour sauver l'état du projet, quitter celui-ci et modifier les préférences ainsi que pour basculer entre les modes réel, simulation, configuration et expert.
2. Le **modèle 3D** de l'installation où l'utilisateur peut interagir avec la position de la camera afin de mieux percevoir les mouvements et les éléments nécessaires.
3. Le **navigateur** de projets ossature ainsi que usinage d'élément de charpente (ISO projet)
4. La fenêtre de **propriétés** permettant de lancer des travaux et voir des informations à propos de l'élément sélectionné.
5. Zone de **notification** des événements.

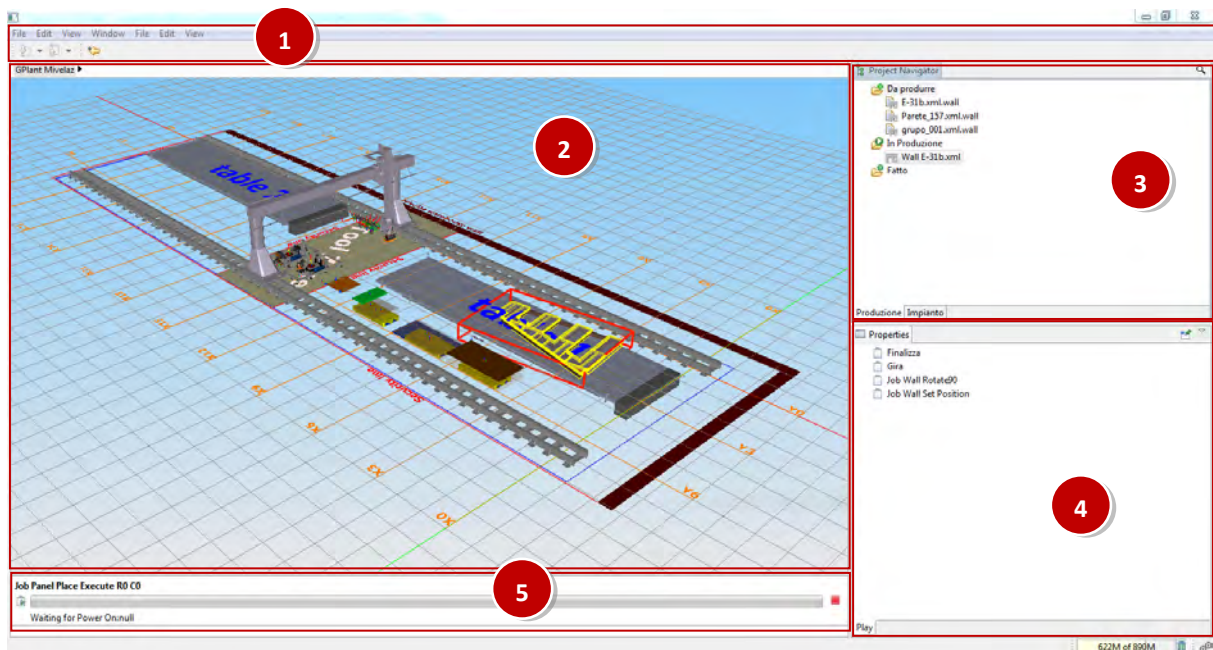


Figure 10 : Le client

Le logiciel possède la philosophie suivante :

- Pour sélectionner un élément de l'installation, il suffit de cliquer une fois dessus, ainsi l'ensemble des possibilités apparaissent.
- Pour visualiser/modifier les connexions avec le robot, les éléments volumiques composant celui-ci, et les points caractéristiques, il faut soit double cliquer dessus, soit sélectionner puis cliquer sur Inspecter.
- Les éléments pouvant être manipulés/modifiés sont cliquables, les autres ne le sont pas.
- Pour certains éléments il est possible de cliquer droit dessus pour faire apparaître un menu contextuel comme par exemple tourner à 90°, déplacer, mettre le robot sous tension...

6.2 Travaux possibles

Suite à l'interprétation de fichiers provenant de Cadwork (xml), les travaux possibles sont les suivants :

- **Pick'n place** : le robot sélectionne la pince adéquate pour prendre le panneau choisi, ensuite il va déterminer précisément la position de celui-ci sous la pince afin de le placer à l'endroit déterminé le plus juste possible.
- **Clouage** : une fois le ou les panneaux placés à l'endroit exact, la pince étant muni d'un cloueur et/ou d'une agrafeuse permet de lancer l'action du clouage aux lieux attendus
- **Marquage** : tracer/écrire des informations sur les panneaux.
- **Sciage et fraisage** : une fois les panneaux placés et fixés sur l'ossature, les travaux de sciage et/ou fraisage sont lancés (nettoyage du tour de l'ossature, fraisage de poches pour les boîtiers électriques...).

Pour la taille de charpente avec l'interprétation des fichiers provenant de Lignocam (en ISO code), le robot peut usiner selon le chemin établi l'élément souhaité, avec différents outils présents dans le magasin d'outils

6.3 Sécurité

GBS possède la détection de collision. En effet juste avant de donner l'ordre au robot d'effectuer un mouvement, le logiciel calcule le déplacement tout en vérifiant qu'il n'y a pas collision. Dans le cas contraire, dans le modèle 3D, les volumes qui seront en collision apparaissent en une couleur voyante montrant à l'opérateur l'endroit du problème...

De plus, une étroite collaboration entre le logiciel et la sécurité de l'installation (§4) permet d'avoir, en temps réel, les différents avertissements et erreurs durant la production.

7 Essais et résultats

7.1 Généralités

Une fois l'installation montée et calibrée et le logiciel GBS fonctionnel, il est possible de réaliser des essais pour valider le choix de certains outils, mécanismes, programmations, sécurités...

Donc deux types d'essais ont été conduits :

- Essais pour le module paroi, avec les différentes actions possibles
- Essais pour le module ISO, avec différents usinages simples et complexes

7.2 Essais pour le module paroi

7.2.1 Essais calepinage de panneau

Les premiers essais ont été effectués pour réaliser le calepinage de panneaux sur une ossature importée dans GBS. Ces essais nécessitent 3 étapes :

1. Prise du panneau (pince à vacuum/griffes)
2. Calibrage de celui-ci sous la pince (station de mesure)
3. Positionnement précis sur l'ossature (pince à vacuum/griffes)

La figure 11 présente, à l'aide de 4 photos, le processus énoncé ci-dessus.

Un problème est apparu lors de la prise des panneaux OSB. En effet, ces panneaux ont une porosité élevée générant des pertes de charges au niveau des ventouses. Pour résoudre ce problème, un nouvel injecteur est placé sur la pince à vacuum pour donner plus de puissance lors de l'aspiration du panneau par les ventouses.

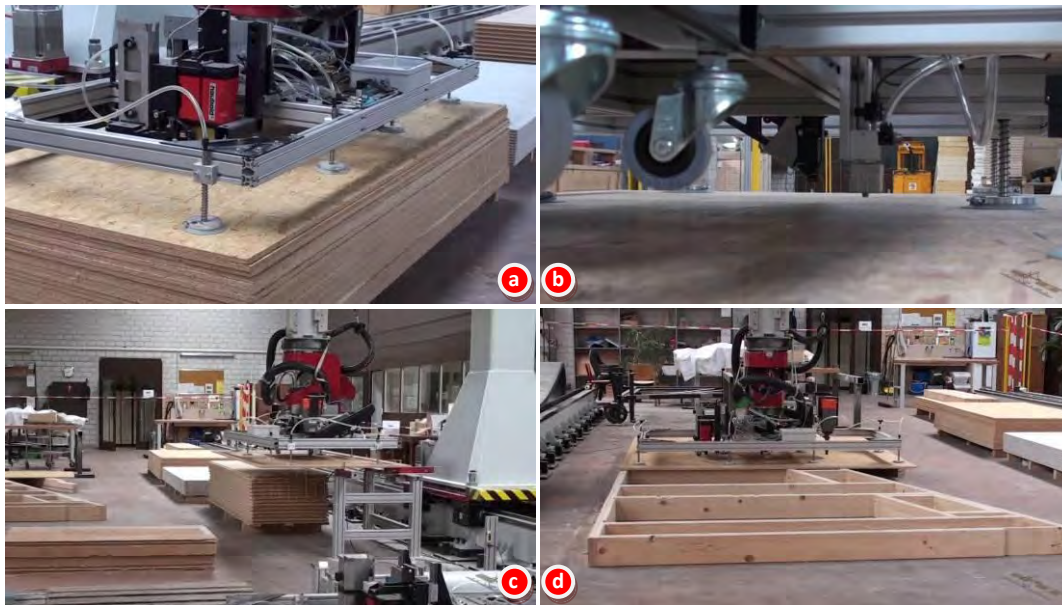


Figure 11 : pick'n place panneau OSB : (a) prise d'un panneau OSB sur la palette, (b) déplacement vers la station de mesure avec le panneau sous la pince, (c) mesure à la station et (d) positionnement précis sur l'ossature

Des tests sont également réalisés avec la pince à griffes comme le témoigne la figure 12.

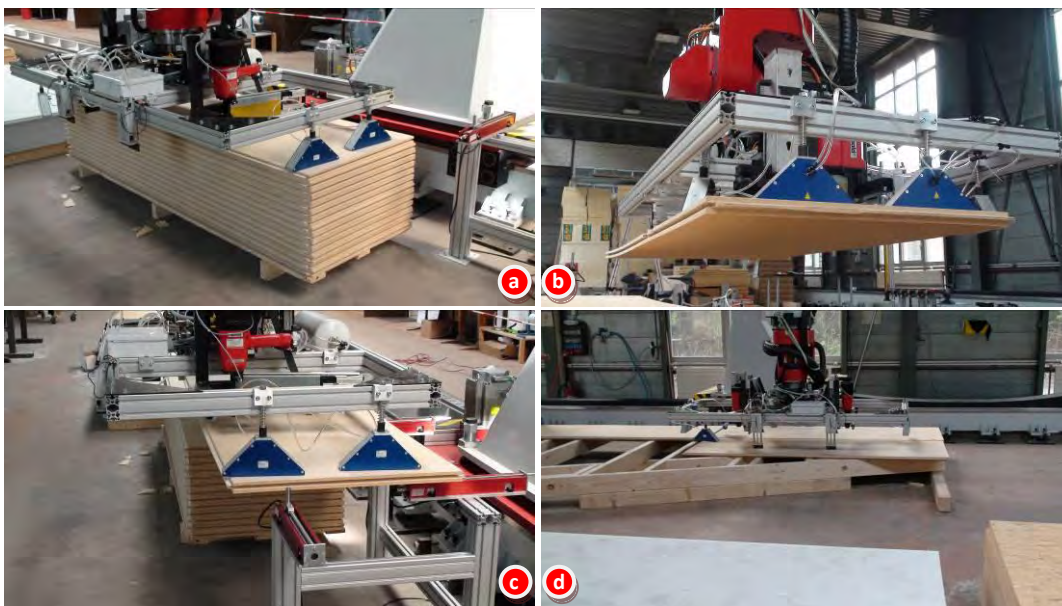


Figure 12 : Exemple de positionnement de panneaux à faible densité : (a) prise d'un panneau à faible densité, (b) déplacement vers la station de mesure, (c) mesure à la station et (d) repositionnement plus précis avec les pousseurs latéraux

Les panneaux de faible densité possèdent généralement des rainures-languettes, il faut pour cela placer le panneau légèrement décalé par rapport à sa position finale puis le pousser jusqu'à sa position finale (Figure 12 (d)).

7.2.2 Essais de clouage

Une fois que le panneau est placé sur l'ossature, il convient de le clouer ou de l'agrafer. Pour cela, comme la pince à vacuum contient une agrafeuse, des essais de clouage sont réalisés une fois que le panneau est positionné.



Figure 13 : Exemple d'agrafage avec la pince à vacuum

Dans un premier temps, le clouage est réalisé à vide, c'est-à-dire sans agraffer réellement. En effet, un fichier de débordement donne le temps, le lieu dans l'installation de chaque agrafage, permettant de comparer avec la position souhaitée de celle-ci.

Il apparait un léger décalage pour la seconde et l'avant-dernière agrafe par rapport au lieu théorique, pour une ligne d'agrafage assez grande. Ce problème vient de l'accélération/décélération du robot lors des déplacements. Ce léger décalage n'étant pas gênant, pour le moment il ne sera pas étudié plus en profondeur.

L'agrafage est effectué en continu (« on the fly ») sans point d'arrêt lors du déclenchement.

Pour le clouage, au contraire, le mouvement est stoppé avant chaque action de clouage puis repart (stop'n go) effectuer le reste de la ligne de clouage. Au point de vue de la précision, il n'y a aucun problème puisque le robot stoppe à l'emplacement exact demandé.

7.2.3 Essais de sciage et fraisage

Le système d'aspiration n'étant pas suffisamment aboutit, au moment des test, pour la double électro-broche, les premiers essais ont été réalisés sans le système de protection et d'aspiration. Ces essais ont montré une grande précision et un usinage correct que se soit en usinant en avalant ou que se soit en usinant en opposition.

La figure 14 présente un exemple de sciage d'un panneau agrafé sur une ossature.

Des essais de fraisage ont été également conduits donnant de bons résultats.

7.2.4 Bilan des essais préliminaires pour le module paroi

Ces premiers essais montrent donc de bonnes prémices pour la fabrication d'une paroi dans son ensemble. Le placement des panneaux sur l'ossature est précis, l'agrafage/clouage est bien maîtrisés, le sciage et le fraisage sont corrects.



Figure 14 : Exemple de sciage avec la double électro-broche

7.3 Essais pour le module usinage CAM

7.3.1 Premiers essais

Pour faire des essais pour la taille de charpente, il faut dans un premier temps se familiariser avec les outils présents dans le magasin. Les premiers essais étaient de réaliser des coupes et des poches simples avec la scie de 350 mm et celle de 600 mm de diamètre ainsi que les fraises de 25 mm et de 40 mm de diamètre.

Ces premiers tests ont montré la pertinence d'avoir choisi une électro-broche de 16kW pour utiliser tous ces outils disponibles.

7.3.2 Essais cycliques

MTB souhaite avoir un stand constitué d'éléments en forme de puzzle. Le défi est de les réaliser avec leur futur installation **wood | flex | 32**.

Pour y parvenir, il a fallu simplifier grandement le processus d'usinage et modifier la pince de l'électro-broche 16kW en lui plaçant une ventouse pour prendre et placer la pièce aux endroits choisis. Cette ventouse a permis de rendre le robot quasi autonome, l'opérateur devant uniquement placer une palette de pièces brutes et replacer les pièces usinées sur une autre palette.

Le processus réalisé est le suivant :

1. Le robot prend une pièce sur la palette initiale
2. Le robot positionne sur la table à centrage gravitationnelle puis la reprend une fois la pièce immobile.
3. Le robot place la pièce sur la table d'usinage, une pompe à vacuum permet de tenir la pièce lors des usinages, le robot relâche la pièce.
4. Le robot réalise les usinages nécessaires en allant chercher dans le magasin l'outil adéquat. L'usinage était généralement organisé dans l'ordre suivant :
 - a. Usinage du chanfrein
 - b. Fraisage de la forme du puzzle
 - c. Fraisage si besoin des angles pour le nettoyage des créneaux
 - d. Perçage dans les angles
 - e. Réalisation du logo MTB si besoin est
5. Le robot nettoie en soufflant la surface supérieure du puzzle pour le prendre
6. Le robot place la pièce usinée sur la palette finale
7. Le robot nettoie la zone de travail (table d'usinage, table de centrage, palettes)
8. Le robot continue (point 1) ou s'arrête.

7.3.3 Problèmes rencontrés et solutions utilisées

Lors de l'usinage une série de problèmes est apparue et qui a pu être résolus.

Les points suivants abordent les problèmes globaux lors de l'usinage des puzzles.

1. L'usinage réalise énormément de copeaux, de poussières et de projections, ceux-ci posent plusieurs contraintes :
 - a. Nettoyer régulièrement l'espace de travail, le robot le fait à chaque cycle mais il convient de souffler le robot régulièrement...
 - b. Protéger le rail et le chariot. En effet, lors de l'usinage, des projections vont sur le rail et viennent s'immiscer dans le guide câbles.
 - c. Nettoyer le robot d'en son ensemble régulièrement.
2. Afin de diminuer les copeaux, un autre problème apparait, la gestion des chutes qui restent quelquefois sur le plan de travail.
3. La table de centrage gravitationnelle doit être suffisamment pentue et glissante afin de garantir la justesse du calibrage. Si celle-ci ne l'est pas, il apparait un problème de centrage beaucoup plus préjudiciable pour la réalisation de la face B du puzzle.
4. L'état de surface des puzzles lors du fraisage de la forme donne quelques problèmes, surtout avec comme matériau de base des trois plis croisés. Il est assez difficile d'usiner dans le bon sens des fibres sans en éclater celles qui sont perpendiculaires. Pour cela la manière de fraiser la forme est revue et amélioré en segmentant l'usinage en plusieurs parties.
5. La réalisation du chanfrein est également un défi, en ayant un support massif et rigide, cet usinage a pu être réalisé avec succès.

Les points suivants exposent quelques problèmes rencontrés autour de l'électro-broche et des outils :

1. Le changement des outils usés doivent être réalisé régulièrement afin d'avoir un état de surface après usinage parfait.
2. Le temps global d'usinage dépend énormément du changement d'outil et bien entendu de l'organisation de l'espace de travail. Le choix d'avoir le magasin d'outils assez éloigné de la table d'usinage permet de garantir une certaine propreté des outils et donc d'être sûre du changement d'outil avec l'inconvénient d'un temps plus élevé.
3. Le perçage par rapport à un plan à 45° a posé le problème du choix judicieux de l'outil. En effet, les mèches à bois possèdent 3 pointes dans la zone d'usinage, ce qui produit une entrée dans la matière pas toujours correcte, il a donc été convenu d'utiliser un foret pour le métal avec 1 pointe afin de garantir le perçage et la pénétration dans la matière à tout les coups.

7.3.4 Bilan des essais cycliques

Les essais cycliques pour l'usinage des puzzles a permis de valider les outils et le système employé pour le changement d'outils avec le magasin fixe dans une zone spéciale. Lors des cycles, le robot devait pour la face A changer au minimum 4 fois d'outils pour réaliser l'ensemble des travaux, soit dans la journée plus de 120 fois. Ainsi, ce système de changement d'outil est validé.

Pour la précision de l'usinage, chaque pièce possède les mêmes dimensions. Un test de précision est conduit avec le perçage dans les angles du puzzle. Il faut pour le réaliser deux usinages, la précision a pu être vérifiée (Figure 16).

Le travail développé par l'électro-broche 16kW est remarquable et appuie le choix de ce système pour la taille de charpente.

Les prochains essais s'effectueront sur une poutre avec un usinage d'après un code ISO.

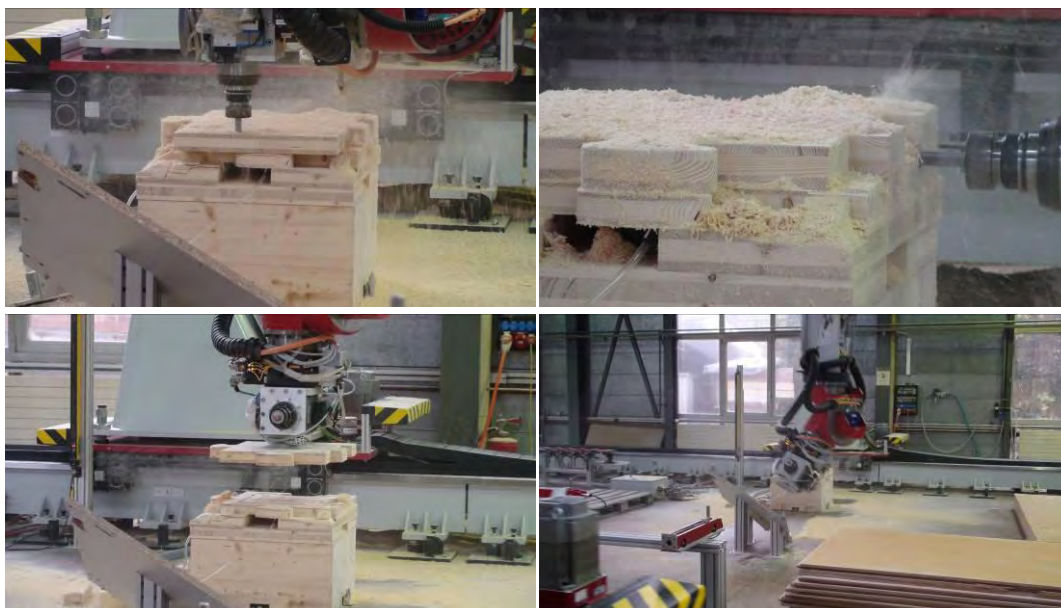


Figure 15 : Quelques étapes d'usines réalisés



Figure 16 : Perçage d'un angle en deux étapes

8 Projet et calendrier

8.1 Généralités

Pour mener à bien le projet, plusieurs domaines ont été explorés :

- Mécanique
- Electronique
- Pneumatique
- Sécurité
- Dessin
- Informatique
- Conception
- Management

8.2 Division du projet et méthode

Avec WU – Wood Unlimited, CW - Cadwork, LC - LignoCAM, MTB – Mivelaz Technologie Bois et GU – Güdel. Une colonne supplémentaire est présente pour décrire l'état de la phase étudiée (Tableau 2).

Tableau 2 : Phases et méthodes

Phase	Description	Méthode	Partenaire	
0	Travaux préliminaires	Faisabilités générales	Visites, rencontres avec des utilisateurs et de fournisseurs	WU, LC, MTB, GU
		Etats de la technique	Complément par participation à des expositions, symposium, et autres cours collatéraux	
		Critères KO	Choix de partenaires compétents et analyse de points critiques susceptibles de mettre en péril le projet	
		Essais préliminaires	Utilisation des outils actuels software pour simuler la fabrication de parois types sur une unité robotisée	
1	Descriptions des fonctions et exigences du portique	Analyse de produits types à réaliser	Dessin 3D d'éléments types devant être fabriqués, parois de différents standards, ...	WU, MTB, CW
		Définition des séquences d'usinage	Complément d'information aux dessins 3D sous forme écrite ou vidéos en ce qui concerne les élaborations/ usinages à réaliser	
		Attribution du temps accordé à chaque séquence	D'une part, faite sur la base de produits déjà fabriqués, d'autre part sur estimation pour des produits non encore fabriqués	
		Bilan des exigences formulées	Meeting	
2	Développement des agrégats et des pinces	Groupe fraises, scies et mèches	Développement, réalisation, savoir faire de WU, GU + compétences externes si nécessaire	WU, GU, MTB
		Pinces pour pick and place / pick and feed d'éléments principaux (panneaux, poutres, barres)	Développement, réalisation, savoir faire de WU, GU + compétences externes si nécessaire	
		Cloueur / agrafeur	Développement, réalisation, savoir faire de WU, GU + compétences externes si nécessaire	
		Marqueur	Développement, réalisation, savoir faire de WU, GU + compétences externes si nécessaire	
3	Préparation des données informatiques - Software	CAD seul	Complément à apporter au niveau du dessin	WU, CW, LC
		CAD <-> CAM	Calcul/ élaboration de l'interfaçage, données dessins (géométrie), pour données machines (géométrie avancée + autres infos)	
		CAM <-> robot	Calcul et élaboration de l'interfaçage, données usinages en mouvements / opérations robot	
		Surveillance et pilotage de toute l'installation	Essais de solutions actuelles et/ou développement programmation solution	
		Configuration unité, station de	Essais de solutions actuelles -> choisir	

		stockage, table de travail, etc.		
		Simulation	Simulation des produits définis dans l'unité de production virtuelle-> software calcul	
4	Développement du système de l'automatisme	Sécurité	En ligne par capteurs, off line voir rubrique software	WU
		Transfert signaux i/o	Schéma de câblage, protocole d'échange, électronique	
		Communication entre les périphériques		
Dans la phase suivante, le robot est réalisé dans les locaux de WU.				
5	Essais préliminaires	Préparations des matériaux et définition des produits tests	Sur site ou dans les locaux de WU avec les composantes réelles	WU, MTB
		Essai d'usinage	Définition et ajustement des paramètres	
		Essai de manutention / handling	Pick and feed, pick and place	
Dans la phase suivante, le robot est réalisé dans les locaux de MTB.				
6	Mise en service et réception	Software	Formation	WU, MTB
		Hardware	Essai d'une petite série, une maison complète	
		Sécurité	Test et contrôle de l'aspect sécurité	
7	Communication	Echange avec des professionnels du domaine	Journée portes ouvertes	WU, LC, MTB
8	Direction du projet	Administration	Rapports intermédiaires + tâches courantes générales	WU
		Mise au point, recadrage du projet	Séances/ protocoles	
		Manuels / descriptifs	Rapport final	

8.3 Calendrier

La durée du projet étant de 10 mois, le tableau 3 présente l'état final du projet.

Tableau 3 : Calendrier final

		Semaine/52											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	Travaux préliminaires WU, LC, MTB, GU	Faisabilité générales											
		Etats de la technique											
		Critères KO											
		Essais préliminaires											
1	Descriptions des fonctions et exigences du portique WU, MTB	Analyse de produits types à réaliser											
		Définition des séquences d'usinage											
		Attribution du temps accordé à chaque séquence											
		Bilan des exigences formulées											
2	Développement des agrégats et des pinces WU, GU, MTB	Groupe fraises, scies et mèches											
		Pinces pour pick and place / pick and feed d'éléments principaux (panneaux, poutres, barres)											

Tableau 5 : Heures par étape du projet

10081MTB Wood Flex	Heures
Control Cabinet	155.57
Divers Mechanique	160.5
Divers Soft	393.25
Formation	8
Gestion du projet	717.28
Module usinage	276.2
Montage	171.6
Outil usinage panneau	69.25
Pince à panneau	162.9
Pince à panneau mou	120.15
Programmation	1400.5
Puzzles	326.3
Robot	267.45
Sécurité	139.5
Station de calibrage	55.25
Test	21.5
Wartung	3
Total	4448.2

Bilan final

Une installation telle que celle proposée au travers de ce projet permet de préfabriquer au maximum les éléments de construction et ainsi d'optimiser les coûts. L'automatisation de la production permet aux entreprises de produire à des coûts similaires à une production de grande série, tout en gardant la flexibilité nécessaire à la réalisation d'éléments uniques. A moyen terme, l'installation se veut autonome, efficace et disponible 24/24.

Les essais préliminaires montrent une installation flexible, efficace, précise, autonome et performante. A l'aide du logiciel GBS, les limites sont repoussées à l'extrême, en effet, la réalisation d'une paroi de forme complexe et unique ne coûte pas plus cher en temps de programmation et de conception que la réalisation d'une paroi basique et en grand nombre. Egalement, pour la taille de charpente, les possibilités sont immenses. Le défi lancé pour la réalisation d'un tel projet est gagné.

Avec l'utilisation du btl et de son amélioration btl-Wand (ossature), la réalisation de parois et de pièce de charpente n'aura jamais été aussi facile. La réalisation de pièce de charpente complexe dont chaque pièce dans la structure est unique et maintenant un jeu d'enfant avec une telle installation, avec lignocam comme logiciel CAM pour la génération des chemins et GBS pour le pilotage. Les structures bois complexes, par exemple dans le centre Pompidou à Metz (France), peuvent être réalisées sans soucis de précision et avec une certaine autonomie. En effet, chaque pièce est globalement unique, donc le coût de programmation et d'usinage est assez élevé, l'installation permettrait de réduire ces deux coûts.



Figure 17 : Centre Pompidou à Metz en Juin 2009

L'installation **wood | flex | 32** est à la fois flexible, innovante, illimitée et rapide.

Annexes

Les annexes sont présents sur le CD joint.

Annexe A

Prospectus **wood | flex | 32** : wood | flex | 32.pdf

Annexe B

Films disponibles :

- WF nailing fur HOLZ a.mp4, exemple de clouage d'un panneau OSB sur une ossature.
- WF nailing fur HOLZ b.mp4, second exemple de clouage d'un panneau OSB sur une ossature.