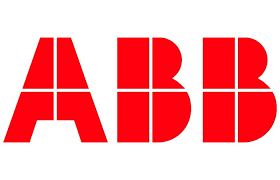
Nos partenaires :







CONSTRUIRE LE COURBE

Ecole des Ponts ParisTech - 11-15 Septembre 2017

L’atelier intensif est dédié aux structures à doubles courbures et à la découverte de leurs méthodes de conception et de fabrication. L’édition 2017 exploite pour la première fois la plateforme *Build’in* du *Co-Innovation Lab des Ponts* et sa cellule de fabrication robotisée. La semaine est organisée autour de la fabrication d’un pavillon en bois qui constituera une réponse innovante aux principales contraintes constructives des structures d’enveloppes : simplicité des connexions, planéité des panneaux et liberté formelle. Une telle réalisation ne saurait être possible sans l’implication de nos partenaires : Simonin, Würth France, HAL Robotics, ABB France et Schunk. Qu’ils soient ici chaleureusement remerciés.

## EFFECTIF PREVISIONNEL

* 25 élèves ingénieurs de 3ème année du département Génie Civil de l’Ecole des Ponts ParisTech (dont 6 en double cursus ingé-archi) ;
* 5 élèves architectes de 5ème année de l’Ecole d’Architecture de la Ville et des Territoires, en master « Matière à penser ».

## OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

* Brosser un panorama des contraintes inhérentes à tout projet de construction de structures courbes et des solutions géométriques, mécaniques et technologiques pour y répondre.
* Initier les étudiants aux études d’exécution, aux spécificités de la construction en bois, à l’utilisation d’outils de fabrication de pointe (usinage robotisé, découpe laser, fraisage numérique, etc.), aux méthodes de contrôle géométrique de la forme.
* Confronter la théorie à la pratique en passant de la conception à la réalisation d’une structure à grande échelle, sensibilisation aux notions de tolérance, de jeu et de réglage...
* Partager l’expérience des différents partenaires (Simonin : constructeur de structures complexes en bois, Würth France : outillage professionnel et quincaillerie, ABB & Schunk & HAL : fabrication robotique, Navier : interaction géométrie, structure et technologie).

## COMPOSITION de la semaine

Conférences (1 j), conception (1,5 j), réalisation-montage (2,5 j).**Équipe PEDAGOGIQUE :**

* Cyril Douthe, Dr. Ing., MCF ENPC, Navier, IFSTTAR
* Romain Mesnil, Dr. Ing., Chef de projet Co-Innovation Lab, ENPC
* Tristan Gobin, Arch., Technicien robotique Navier, HAL Robotics
* Nicolas Ducoulombier, Ing., Doctorant Navier, ENPC
* Xavier Tellier, Ing., Doctorant Navier, ENPC
* Lionel du Peloux, Ing., Doctorant Navier, ENPC
* Pierre Margerit, Ing., Doctorant Navier, ENPC
* Hocine Delmi, Technicien Navier, ENPC
* Loïc Simonin, Expert Bois, SIMONIN SAS
* Stephen Conord, Prescripteur tech, référent Gdes Ecoles Würth France
* Thibault Mandallaz, Prescripteur tech, référent bois, Würth France
* Laurent Fluxa**,** Responsable Groupe Projet GI, ABB France

## PARTENAIRES

Simonin SAS : fourniture du bois, accompagnement conception & usinage

Würth France : fourniture visserie, fixations ; accompagnement conception & pose : guide pratique chevillage/visserie, outil numérique de vérification

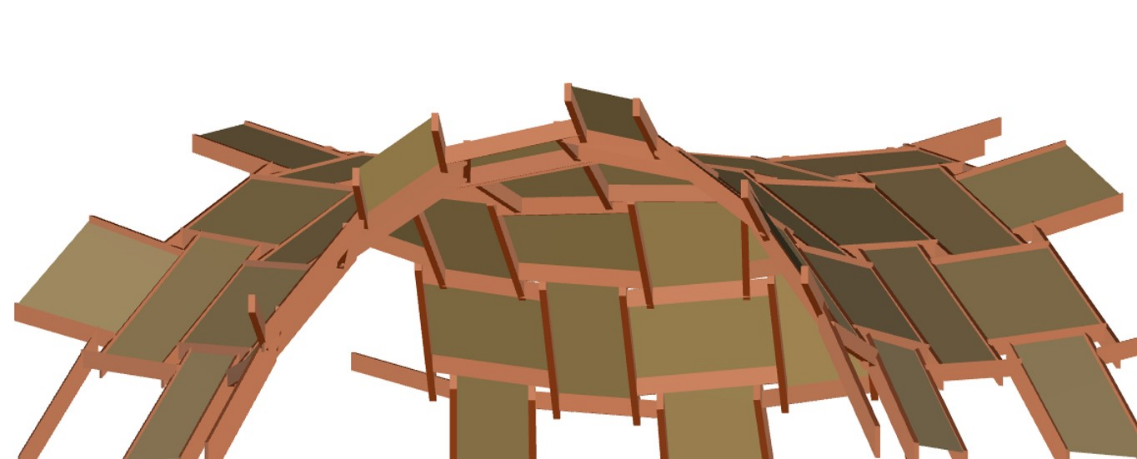
HAL Robotics : développement et fourniture du logiciel de pilotage de la cellule robotisée *Build’In*, accompagnement conception & usinage

ABB Robotics : Installation et maintenance de la cellule robotisée *Build’In*

Schunk, : Installation et maintenance de la cellule robotisée *Build’In*

## Le PAVILLON « CONSTRUIRE LE COURBE » 2017

* Le défi : conception/réalisation d’un pavillon temporaire d’une cinquantaine de mètres carrés en une semaine.
* Le projet : structure réciproque couverte et contreventée par panneaux plans, construction innovante qui s’appuie sur l’expertise des partenaires sur les structures en bois à géométrie complexe.
* La méthode : réalisation des études d’avant-projet, conception de la chaine d’usinage robotisée et préfabrication partielle en amont de la semaine par l’équipe pédagogique qui fournit les éléments aux étudiants en charge d’une contre-étude et du montage.
* L’objectif : exposition de la structure sur le site de l’Ecole des Ponts ParisTech et inauguration pour les « 20 ans de l’Ecole sur le campus Descartes » le 17 octobre 2017.



## Programme du lundi

8h30-11h : Construire le courbe (CD & RM) :

* Panorama de structures à double courbure emblématiques par typologie de structure, d’enveloppe et famille de surfaces ;
* Eléments clés de conception des arcs et des coques ;
* Focus sur les gridshells rigides.

11h30-12h30 : Présentation du pavillon :

* Genèse de la géométrie (CD, RM) ;
* Conception des principaux détails (PM, XT, ND, TG)

12h30-13h30 : Pause déjeuner

13h30-15h00 : Fabrication robotisée (dont visite cellule Freyssinet) (TG)

15h00-16h30 : Présentation des partenaires

* Structures complexes en bois (Simonin, L. Simonin)
* Solutions innovantes pour la construction (Würth, S. Conord)
* La robotique dans la construction (ABB, L. Fluxa)

17h00-18h00 : Présentation des groupes de travail.

* Planning et organisation des groupes ;
* Préparation de la journée du mardi.

## PLANNING général

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 8h30-12h30 | Conférences | Ateliers  Conception | Synthèse des ateliers | Montage  Assemblage | Montage  Assemblage |
| 14h00-18h00 | Conférences | Essais/Tests | Fabrication  Fondation | Montage  Assemblage | Finition  Rangement |

Inauguration officielle du pavillon le 17 octobre 2017 lors de l’événement « 20 ans de l’Ecole des Ponts ParisTech sur le Campus Descartes » : présentation de sa réalisation en ouverture de la table ronde « Industrie du futur – systèmes constructifs ».

* Présentation façon *pecha kucha* (20 diapos de 20 secondes) ;
* Photoreportage « construire le courbe » sous la structure ;
* 3 vidéos de 2 minutes : le pavillon (sa conception et sa réalisation), l’atelier « construire le courbe » (l’aventure humaine), les partenariats clés de la réussite.

## Prérequis

* Initiation à Rhino/Grasshopper souhaitée,
* Goût pour le travail en équipe et le terrain.

## Equipements DES PARTICIPANTS

* Ordinateur personnel équipé de Rhino/Grasshopper souhaité.
* **Chaussures de sécurité obligatoire** **(non fournies par l’Ecole)**

## Préparatifs

* Prise en main des outils numériques fournis sur la page de l’atelier **http://thinkshell.fr/freeform-wooden-gridshell-2017/**
* Lecture des articles sur les structures réciproques et les structures à panneaux plans (cf. page web de l’atelier).

## SECURITE ET PREVENTION

* Initiation obligatoire à l’utilisation des matériels potentiellement à risque par du personnel qualifié mis à disposition par les partenaires.
* Port obligatoire des équipements de protection individuelle adaptés durant les activités potentiellement à risque.

## EVALUATION

L’évaluation du travail des étudiants est basée sur :

* le compte-rendu de chaque groupe de travail,
* le compte-rendu final de la semaine,
* la participation active aux différentes activités (groupe de travail, réunion de synthè se, montage de la structure, rendu final).

## RENDU intermediaire (un responsable par rendu)

* Synthèse orale en 20 diapos de 20 secondes,
* Un texte en français et en anglais de 200-300 mots présentant le travail du groupe, ses objectifs, ses méthodes et ses résultats,
* Une sélection de 10 images avec légendes illustrant ce travail.

## RENDU FINAL (un responsable par rendu)

* sélection de 20 photos du montage ;
* sélection de 20 photos de détails ;
* sélection de 10 photos de la structure finie ;
* sélection de 30 photos de la joyeuse équipe de la semaine ;
* exposition photos pour le 17 octobre (tirage et accrochage) ;
* présentation de la semaine en 20 diapos de 20 secondes (répétition obligatoire avant le 17 octobre) ;
* texte en anglais et en français de 200-300 mots sur le montage de la structure (analyse et synthèse) ;
* texte en anglais et en français de 200-300 mots sur le travail avec les partenaires de la semaine ;
* un modèle numérique 3D de la structure finale « as built ».

GROUPES DE TRAVAIL

Présentation détaillée

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| N° | Nom | Effectif | Salle | Référent |
| G1a | FORME & STRUCTURE | 3-6 | F107 | R. Mesnil | C. Douthe |
| G1b | MONTAGE & MÉTHODE | 3-6 | F107 | L. du Peloux | H. Delmi |
| G1c | MESURES & GÉOMÉTRIE | 3-6 | F107 | C. Douthe | P. Margerit |
| G2a | CONCEPTION DES DÉTAILS | 3-6 | F108 | X. Tellier | T Mandalaz |
| G2b | ESSAIS SUR STRUCTURE | 3-6 | F108 | N. Ducoulombier | S. Conord |
| G3 | FABRICATION ROBOTISÉE | 3-6 | Halle Freyssinet | T. Gobin | L. Simonin |

## Objectifs

* comprendre la méthode de génération de la forme ;
* comprendre l’interaction entre la géométrie et les contraintes de fabrication ;
* comprendre l’interaction entre la géométrie et le comportement de la structure ;
* étudier le rôle du panneau de contreventement.
* étudier des géométries et des maillages alternatifs.

## COmpétences

* goût pour la géométrie et la conception des structures ;
* goût pour la modélisation ;

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la grande salle (F107) (+salle info P404)

## Problématique de la restitution :

Synthèse des variantes étudiées, au travers des interactions forme, structure et fabrication.votre PROGRAMME

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Compréhension des méthodes | Synthèse |  |  |
| 14h - 18h |  | Analyse des variantes |  |  |  |

## vos PERSONNES RESSOURCES

R. Mesnil, X. Tellier, C. Douthe

## vos outils

Rhinoceros, Grasshopper, Karamba, CLC toolbox

## vos materiaux

NA

## Objectifs

* comprendre la géométrie du pavillon et la nomenclature générale ;
* définir la procédure de montage de la structure ;
* analyser la stabilité structurelle des étapes intermédiaires ;
* mettre au point les dispositifs de levage et de calage ;
* gérer les effectifs et les matériels ;
* veiller à la sécurité des personnes.

## COmpétences

* sens pratique, créativité et organisation ;
* enthousiasme et leadership ;

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la grande salle (F107) (+salle info P404)

## Problématique de la restitution :

Synthèse de la méthode de montage.

## PROGRAMME

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Définition de la procédure de montage | Synthèse | Coordination du montage | Coordination du montage |
| 14h - 18h |  | Mise au point des dispositifs de levage | Préparation du montage | Coordination du montage |  |

## PERSONNES RESSOURCES

L. d Peloux, H. Delmi, X. Tellier, R. Mesnil.

## outils

Rhinoceros, Grasshopper, Karamba

## vos materiaux

3 gazelles, 1 échafaudage, 5, escabeaux, 3 chandelles, panneaux OSB, tubes composites & assemblages, sangles diverses, chariot élévateur

## Objectifs

* comprendre la méthode d’analyse photogrammétrique ;
* comprendre la géométrie du pavillon ;
* assurer l’implantation du pavillon ;
* assurer le contrôle géométrique des éléments préfabriqués et de la structure à chacune des étapes intermédiaires ;
* produire un modèle 3D « as built » de la structure finale

## COmpétences

* goût pour la géométrie et le terrain ;
* goût pour la photographie ;
* rigueur et fiabilité ;

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la grande salle (F107) (+salle info P404)

## Problématique de la restitution :

Synthèse des méthodes de contrôle géométrique à mettre en œuvre durant le montage.

**PROGRAMME**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Analyse photo. | Synthèse | Contrôle continu de la structure | Contrôle continu de la structure |
| 14h - 18h |  | Mise au point des méthodes de contrôle | Implantation des ancrages | Contrôle continu de la structure |  |

## PERSONNES RESSOURCES

C. Douthe, P. Margerit, S. Conord, L. du Peloux

## outils

Micmac, excel, Rhinoceros/grasshopper

## materiaux

Appareil photo, mètres, double décamètres, fil à plomb, traceur de chantier, mire, cibles et gabarits.

## Objectifs

* comprendre le fonctionnement de la structure ;
* analyser les efforts dans les assemblages ;
* vérifier le dimensionnement des organes de liaisons ;
* apprendre quelques règles de l’art de charpente bois ;
* comprendre l’apport de produits spécifiques certifiés par rapport à la norme (EC5) ;
* étudier l’influence des contraintes de fabrication sur la capacité des connexions ;
* étudier le rôle du panneau de contreventement.

## COmpétences

* goût pour la conception et le calcul des structures ;
* souci du détail et curiosité pour la construction coté entreprise.

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la grande salle (F108) (+salle info P404)

## Problématique de la restitution :

Point clefs et points critiques du dimensionnement des connexions (courante, en bord et en pied).

**PROGRAMME**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Analyse structure + détails. | Synthèse |  |  |
| 14h - 18h |  | Vérification |  |  |  |

## PERSONNES RESSOURCES

X. Tellier, T. Mandallaz, S. Conord

## outils

Rhinoceros, Grasshopper, Karamba, Guides chevillage et visserie Wurth, Profix, EC5

## materiaux

## Objectifs

* comprendre le fonctionnement structurel de la structure ;
* analyser les efforts dans les assemblages ;
* comprendre les principes de l’analyse par corrélation d’images ;
* caractériser les matériaux ;
* fabriquer, analyser et tester les différents assemblages et les liaisons au sol.

## COmpétences

* goût pour l’expérimentation ;
* rigueur et fiabilité

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la grande salle (F108) (+salle TP V012 + dalle)

## Problématique de la restitution :

Capacité effective des organes de liaisons et des connexions.

**PROGRAMME**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Conception des détails  DIC. | Synthèse |  |  |
| 14h - 18h |  | Réalisation et interprétation des essais |  |  |  |

## PERSONNES RESSOURCES

N. Ducoulombiers, S. Conord, T. Mandallaz, C. Douthe

## outils

Guide visserie Wurth, EC5, presse MTS, appareil photo, extractomètre, clef à choc

## materiaux

Poutres BLC, vis ASSY VG, vis ancrage,

## Objectifs

* comprendre le fonctionnement de la cellule robotisée ;
* comprendre les étapes d’usinage des pièces ;
* comprendre la nomenclature générale des pièces ;
* assurer la production des spécimens pour les tests sur les connexions ;
* assurer la production des pièces défectueuses.

## COmpétences

* goût pour la robotique, l’usinage du bois ;
* rigueur et fiabilité.

## Lieu de Reunion

Vous travaillez dans la halle Freyssinet.

## Problématique de la restitution :

Points clefs de l’usinage des pièces.

**PROGRAMME**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
| 9h - 12h30 |  | Compréhension de la chaine d’usinage. | Synthèse | Usinage |  |
| 14h - 18h |  | Réalisation de pièces specifiques | Usinage | Usinage |  |

## PERSONNES RESSOURCES

T. Gobin, L. Simonin, L. Fluxa, P. Margerit

## outils

Robots ABB, Rhino/Grasshopper, HAL Robot programming and Control

## materiaux

Poutres BLC.

## MATERIAU

* BLC 60x140x1500
* BLC 60x140x2000
* CP 1500x1030x10

## QUINCAILLERIE

* Vis ASSY VG 8x200 (Assemblage en T)
* Vis ASSY 4x40 (Fixation CP)
* Vis pour pied rotulé
* Rondelle si nécessaire
* Mèches bois pour pré-trou / guidage
* Console Varifix (x32)
* Pied Articule Varifix (x32)
* Boulon fixation Varifix (x64)
* Vis fixation sol

## MATERIELS ELECTROPORTATIFs

* Scie sauteuse (x6)
* Perceuse-Visseuse (x6)
* Visseuse d’angle
* Rallonges

## OUTILLAGE

* Double décamètre (x2)
* Mètres
* Scies à main
* Limes
* Serre-joints

## MACHINES

* Cellule robotisée
* Fraiseuse numérique 3 axes
* Découpe laser
* Perceuse sur colonne
* Scie plongeante (x1) avec rail
* Scie radiale à onglet (FESTOOL)
* Machine d’essai INSTRON

## AUTRES

* Escabeaux, échelle,
* Echafaudage

## PROTECTIONS PERSONNELLES

* Bouchons d’oreille ou casque antibruit
* Lunettes
* Gants

Pour tout renseignement, contactez :

* Cyril Douthe, Responsable pédagogique de l’atelier, [cyril.douthe@enpc.fr](mailto:cyril.douthe@enpc.fr)
* Romain Mesnil, Chef de projet Co-Innovation Lab des Ponts, [romain.mesnil@enpc.fr](mailto:romain.mesnil@enpc.fr)
* Thinkshell, portail structure et architecture du laboratoire Navier, [info@thinkshell.fr](mailto:info@thinkshell.fr)