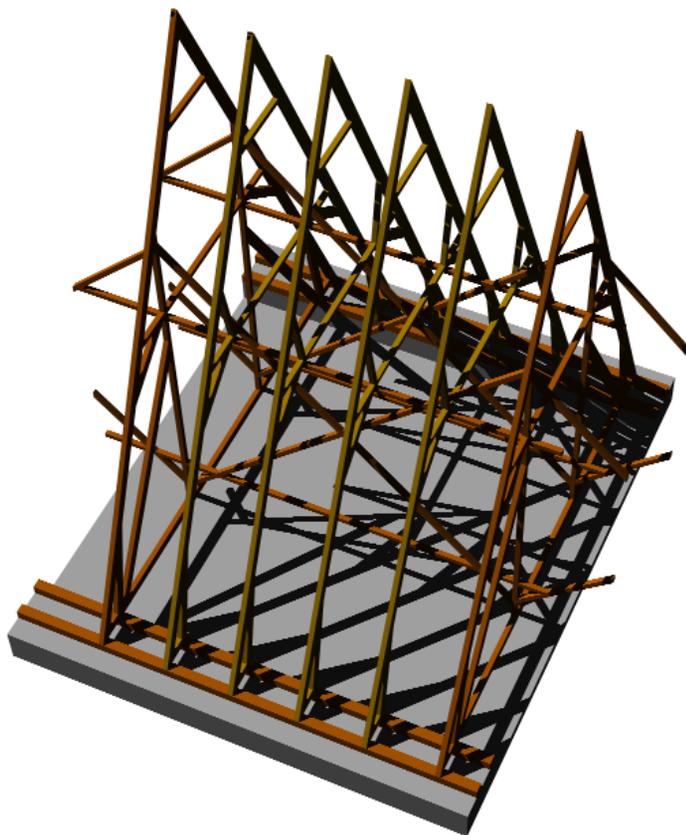


Proposition D'un outil de modélisation informatique Des charpentes

Par Claude Parisel
Février 2005



En hommage au travail remarquable de Patrick Hoffsummer :

Les charpentes du Xème au XIXème siècle.

Table des matières :

Problématique
Objectif
Principe
La définition d'une action
L'enregistrement et la récupération des actions
Les modifications
La matérialisation
Conclusion

Algorithmique

15 figures

page couverture :

La figure illustre le résultat susceptible d'être obtenu par la proposition.

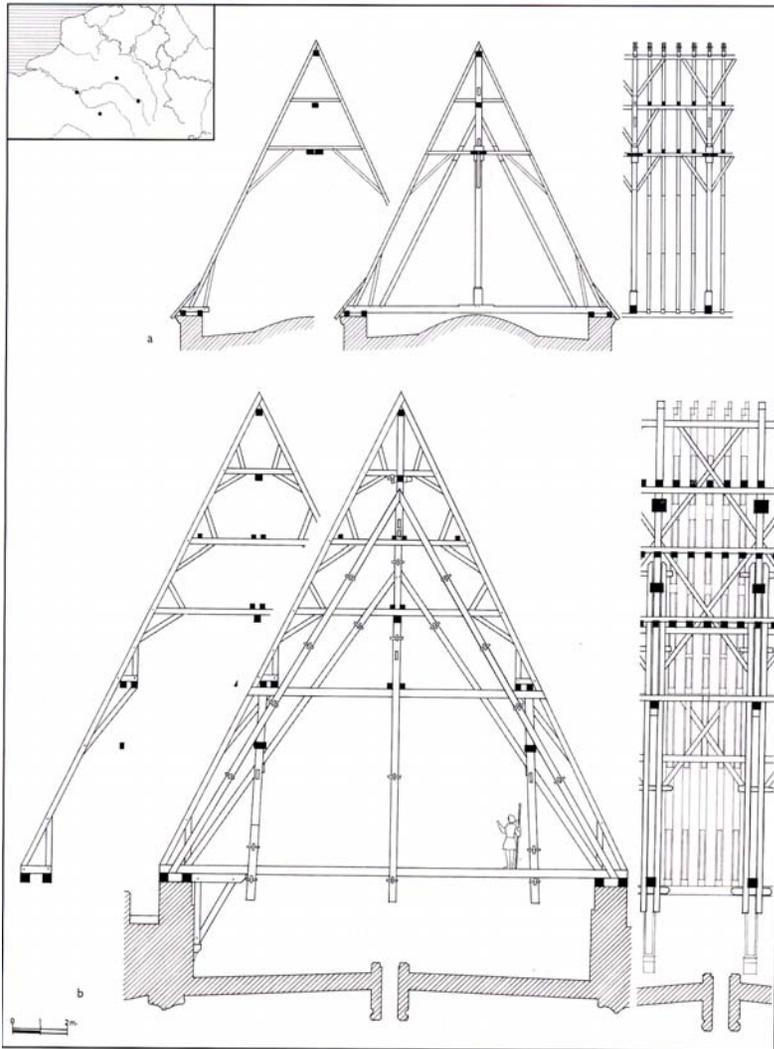


fig.1. Exemple de description des diverses typologies de charpente.

Problématique :

Ce livre fait état de la typologie et de l'évolution des charpentes de toiture principalement en France du Nord et en Belgique entre le XIème et le XIXème siècle.

Des centaines de charpentes y sont répertoriées et illustrées selon une norme graphique précise [fig.1] montrant l'élévation des fermes et la vue de côté.

On peut imaginer le temps requis pour construire toutes ces planches alors même que les principes sont souvent répétitifs.

De plus, le lecteur est obligé de faire un certain effort pour se représenter la charpente décrite à partir de deux projections.

On trouve aussi les photos d'une superbe collection de maquettes en bois très efficaces pour communiquer la forme [fig.2]. Cependant les photos de ces maquettes sont limitées à un ou deux point de vue alors que l'on aimerait pouvoir la manipuler sous divers angles pour en apprécier la forme et la complexité.

Il serait donc utile de constituer une collection de modèles 3D illustrant ces charpentes, pouvant être traduites en format VRML, ce qui permettrait au lecteur de les manipuler selon ses besoins et les diffuser à travers le monde par le Web.

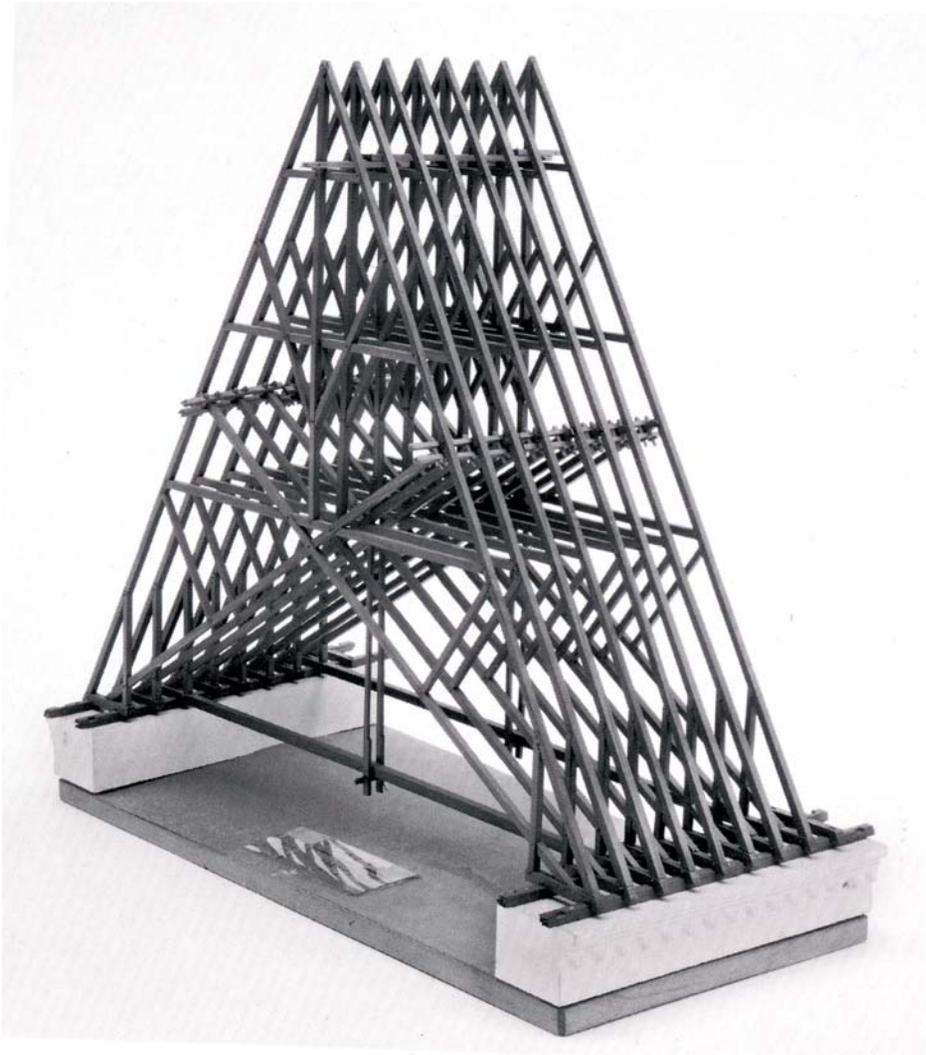


Fig.2. Maquette de charpente

Objectif :

Pour faciliter la construction de ces maquettes virtuelles on peut retenir quelques critères :

Les modèles doivent être paramétrés de façon à ce que les diverses occurrences d'un même modèle puissent être générées très rapidement en changeant la valeur des paramètres tout en conservant la même logique de construction.

Pour obtenir cela, la seule issue est de programmer le modèle sous forme d'un processus qui génère l'objet en fonction de certaines valeurs variables. Il faut donc savoir programmer ou engager un programmeur pour chaque modèle type que l'on veut faire.

L'alternative à cela serait de faire un outil qui permette à l'utilisateur de consigner la logique propre à un type de charpente sans savoir, pour cela, programmer.

C'est l'objectif de la proposition.

Principe :

Une logique constructive peut se traduire par une succession ordonnée d'actions produisant une constituante de l'objet qu'elle soit physique comme une poutre, ou informative comme une marque de repère.

Le système proposé doit avoir plusieurs composantes :

- Un outil de création de la logique constructive selon l'utilisateur.
- Un outil de sauvegarde de cette logique sous forme de fichier.
- Un outil d'ouverture de ces fichiers.
- Un outil de re-exécution automatique de la logique consignée.
- Un outil de modification des paramètres propres à cette logique.

Elle peut porter aussi sur la logique géométrique en décrivant la relation entre les lignes d'axe mais aussi sur la matière en réalisant, en solide, l'ensemble des composantes physiques de la maquette.

Elle devrait, enfin faciliter les travaux en aval et en amont de la modélisation comme l'exploitation pour des analyses structurales par exemple ou l'ajustement efficace du modèle à partir des mesures pouvant être relevées sur place.

Tous ces outils nécessitent une information structurée. Le format adopté pour cette information a un effet majeur tant sur les possibilités de manipulation qu'il offre que sur la rapidité de l'exécution.

Format d'une action :

Une action est une liste comprenant :

Un No d'identification de l'élément créé.

La procédure à suivre

Le nom de la procédure (programme)

Les données nécessaires au programme

Le plan de construction

Les autres paramètres

L'objet résultant

Format d'un nœud :

Voici un exemple d'une action visant à la construction d'un nœud :

(3 ("pron-8" ("F" (1 18.0 2 18.0))) (6.46461 0.0 16.7991))

ce qui signifie :

(Début de la liste
3	No d'identification du nœud
(
"pron-8"	Nom de la procédure
(
"F"	Nom du plan de référence
(
1	No du 1 ^{er} nœud de référence
18.0	Distance à ce nœud
2	No du 2 ^{ème} nœud de référence
18.0	Distance à ce nœud
)	
)	
)	
(6.46461 0.0 16.7991)	Coordonnées X,Y,Z du nœud résultant
)	

Les procédures suivantes de construction d'un nœud ont été testées pour le prototype :

Entrée arbitraire:

avec la souris

defn-0

avec ses coordonnées X & Y

defn-1

Sur un vecteur, passant par un point [p0], parallèle à [p1-p2]

avec p0, une direction & une distance

defn-2

avec p0, une direction & un pourcentage de la distance

defn-3

avec p0, une direction et une intersection avec un vecteur

defn-4

Sur un vecteur, passant par un point [p0], perpendiculaire à [p1-p2]

avec p0, une direction & une distance

defn-5

avec p0, une direction et %

defn-6

avec p0, direction et intersection

defn-7

Par deux points donnés et deux distances

defn-8

Évidemment, beaucoup d'autres procédures seraient à développer pour répondre à tous les besoins.

Format d'un lien entre deux nœuds :

```
("1-3" ("prol-0" ("F1" (1 3 0.5 0.2))) ((0.0 0.0 0.0) (7.59279 0.0 18.5027)))
```

Noter que l'identification est formée des 2 numéros de points qui forment le segment. Les paramètres de la fonction prol-0 comprennent les deux numéros de point mais aussi deux valeurs donnant la largeur et l'épaisseur de la membrure. On peut aussi avoir un lien mécanique exprimant le lien entre deux membrures dont les axes sont décentrés.

Format d'un plan :

```
("F1" ("proc-0" ("W" ("F" 3))) ((0.0 0.0 0.0) (1.00 0.0 0.0) ))) (7.59279 0.0 18.5027))
```

Dans ce dernier cas l'identification du plan est un nom choisi [F1] la procédure dépend de la genèse de ce plan, ici une copie parallèle au plan F dont l'origine est au nœud 3. Le résultat est 3 points, origine, point sur OX et point sur OY

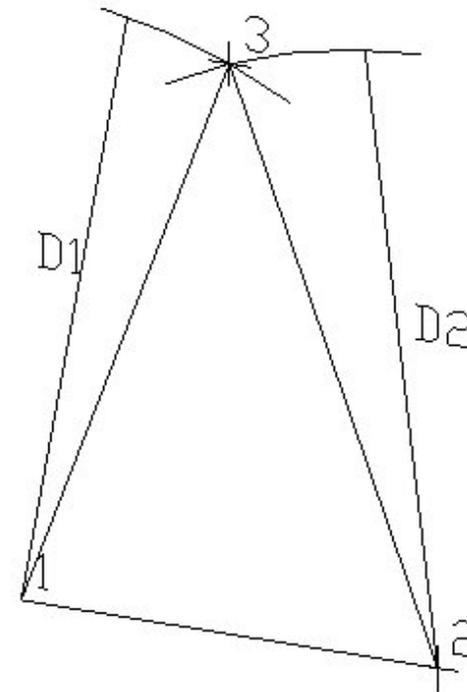


Fig.3. Construction d'un nœud [3], exécutée par la procédure "defn-8", à partir de 2 nœuds existants [1]&[2] et deux distances à ces nœuds [d1]&[d2]

La définition d'une action

L'enregistrement de la logique de construction se fait alors ainsi :

L'outil est initialisé en construisant, entre autre, 3 plans de référence, orthogonaux, « D » pour dessus, « F » pour Face, « C » pour côté. D'autres choses peuvent être placées au moment de l'initialisation.

Une interface générale propose un choix d'actions possibles selon un menu et des sous-menu actuellement réduit au minimum et susceptible de devenir beaucoup plus agréable d'utilisation par le biais d'icône ou de mise en page de tableaux. Dans le prototype, il prend la forme suivante :

Choix de base :

[F]in, [C]opie, [P]lan, [N]œud, [L]ien:

- sous-menu de [P]lan :

On offre de changer de plan de référence et même d'en créer un nouveau à partir de 3 nœuds.

[N]ew, [D]essus (xz), [F]ace (xy), [C]ôté (zy), [A]utre:

- Sous-menu de [N]œud :

Une gamme plus ou moins importante de procédure de construction est offerte dont 9 ont été implantées dans le prototype.

Action [F],[0],[1]-[2],[3],[4]-[5],[6],[7]-[8]:

- Sous-menu de [C]opie :

Une proposition préliminaire permet de copier un plan passant par une nouvelle origine et parallèle à un plan existant ou de copier un nœud dans un plan sur un autre plan parallèle au premier.

[F]in, [P]lan, [N]œud:

- Sous-menu de [L]ien:

Actuellement il n'y a qu'un seul choix

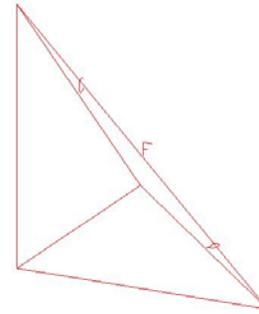


fig.4 : cadre de travail pour construire la logique

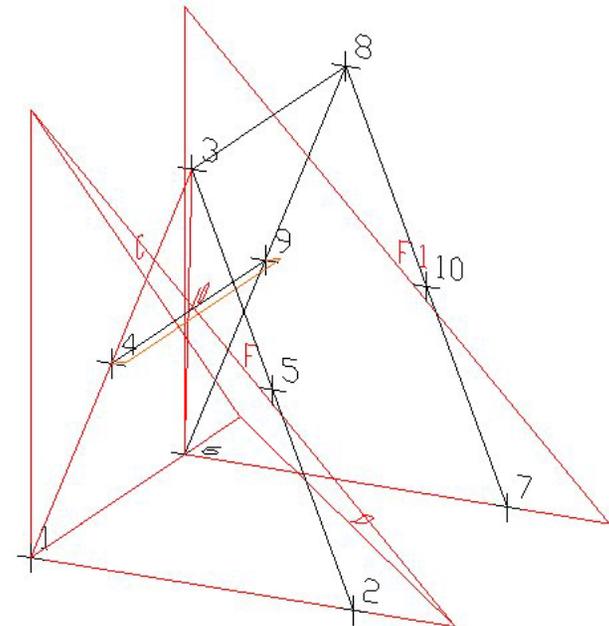


Fig.5 : Exemple d'une séance de construction : plans, nœuds et liens

Le choix d'une action lance le programme de saisie d'information propre au type d'action. Ainsi le choix de construire un nœud selon la procédure **defn-8** entraînera la saisie suivante :

Donnez le numéro du premier nœud :
Donnez la distance du nœud à construire au premier nœud :
Donnez le numéro du 2^{ème} nœud :
Donnez la distance du nœud à construire au 2^{ème} nœud :

Les résultats de cette saisie permet de construire une liste comprenant la procédure choisie et les données nécessaires pour l'exécuter. Ces résultats sont envoyés à une autre fonction, **pron-8**, qui « réalise » l'objet selon cette procédure.

Enfin la composante étant construite, l'action, comprenant la procédure, les données et les résultats est écrite dans la liste des actions.

Résultat partiel de la séance illustrée en figure 5:

```
((1 ("pron-0" ("F" (0.0 0.0 0.0))) (0.0 0.0 0.0)) (2 ("pron-0" ("F" (15.1856 0.0 0.0))) (15.1856 0.0 0.0)) (3 ("pron-8" ("F" (1 20.0 2 20.0))) (7.59279 0.0 18.5027)) (4 ("pron-3" ("F" (1 1 3 0.5))) (3.7964 0.0 9.25134)) (5 ("pron-3" ("F" (2 2 3 0.5))) (11.3892 0.0 9.25134)) (6 ("pron-0" ("D" (0.0 14.6949 0.0))) (0.0 14.6949 0.0)) ("F1" ("proc-0" ("D" ("F" 6))) ((0.0 14.6949 0.0) (20.0 14.6949 0.0) (0.0 14.6949 20.0))) (7 ("proc-1" ("F1" ("F" "F1" 2))) (15.1856 14.6949 0.0)) (8 ("proc-1" ("F1" ("F" "F1" 3))) (7.59279 14.6949 18.5027)) (9 ("proc-1" ("F1" ("F" "F1" 4))) (3.7964 14.6949 9.25134)) (10 ("proc-1" ("F1" ("F" "F1" 5))) (11.3892 14.6949 9.25134)) ("1-3" ("prol-0" ("F1" (1 3 0.0))) ((0.0 0.0 0.0) (7.59279 0.0 18.5027))) ("2-3" ("prol-0" ("F1" (2 3 0.0)))....
```

L'enregistrement et la récupération des actions :

La logique constructive est donc consignée dans une grande liste.

Deux fonctions ont été écrites pour sauvegarder et relire ces données :

(**écriture** nom_de_la_liste) sauvegarde de la liste dans un fichier.

(**lecture**) Reconstruction de la liste à partir de la lecture du fichier.

Une fonction permet alors d'exécuter la liste d'action pour construire la charpente selon la logique enregistrée.

Les modifications :

- On peut, dans un premier temps, changer la valeur d'un paramètre ou même de la procédure, directement dans la liste.
- On peut aussi faire des fonctions qui affichent la procédure qui génère chaque composante et permettent de changer les paramètres de cette procédure.

Ainsi le changement de la distance à un point de passage sur un vecteur changera la position du nœud créé et par la suite de tout ce qui en dépend.

En effet, il faut comprendre qu'une modification de la nième action entraîne la ré exécution de toutes les actions suivantes puisque les actions qui suivent peuvent utiliser les résultats de cette nième action, lesquels ont changés en raison de la modification des paramètres.

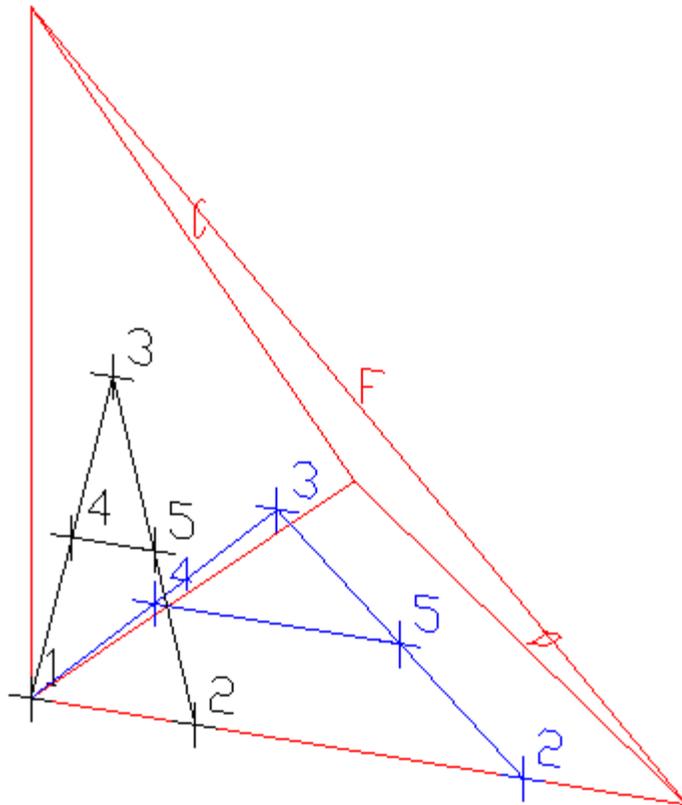


fig.6 : Modification des données sur le nœud 2

Soit une logique selon laquelle :

Le nœud 1 est à l'origine

Le plan actif est de face [F]

Le nœud 2 est défini par la procédure [defn-1]

soit à $x=15, y=0$ du nœud 1

Le nœud 3 est défini par la procédure [defn-8]

Soit à 10 du nœud 1 et 10 du nœud 2

Le nœud 4 est défini par la procédure [defn-3]

Soit à partir du nœud 1 dans la direction 1-3 à 50% du segment 1-3, c'est à dire la moitié.

Le nœud 5 est défini par la procédure [defn-3]

Soit à partir du nœud 2 dans la direction 2-3 à 50% du segment 2-3, c'est à dire la moitié.

Le segment 1-3 est défini par la procédure [defl-0]

Soit construit le segment 1-3 sans excentricité

Le segment 2-3 est défini par la procédure [defl-0]

Soit construit le segment 2-3 sans excentricité

Le segment 4-5 est défini par la procédure [defl-0]

Soit construit le segment 4-5 sans excentricité.

Un changement des paramètres de la procédure qui définit le nœud 2 pour $x=5, y=0$ change la position du nœud 2 et la re-exécution de la logique change l'ensemble des résultats tout en gardant le même raisonnement (la distance 1-3 reste à 10 unités et le point 4 au milieu du segment 1-3)!

Voir fig.6 :

Le tracé en bleu est le tracé original. Le tracé en noir est le résultat de la re exécution de la même liste d'action avec la nouvelle valeur de x pour le nœud 2.

La matérialisation

La construction des lignes d'axes correspond à l'axe des fibres des composantes physiques de la charpente. On a vu que l'on pouvait, à partir d'un même nœud, décentrer ces lignes d'axes donc les pièces de bois.

Si on enregistre, segment par segment, un profil rectangulaire, dans le sens du plan de référence et dans le sens perpendiculaire à ce plan (largeur et épaisseur) on doit être à même de construire la pièce de bois elle-même.

Soit une configuration illustrée à la fig.7 dans laquelle le segment 1-5 a été construit deux fois avec un décentrement en avant et en arrière du plan frontal.

Une première fonction peut construire un polygone sur la direction du segment et adopter une largeur équivalente à la moitié de la largeur de la pièce (fig.8).

À partir de là, un solide peut être construit sur ce polygone ayant l'épaisseur de la pièce de bois et donner un modèle *solide* de la charpente (fig.9).

Bien sûr le résultat ne traite pas les assemblages correctement. Par contre, un examen des conditions du nœud (existence de membrures aux extrémités de celle que l'on matérialise) permettrait de résoudre l'assemblage. La procédure à mettre en marche serait plus complexe mais tout à fait possible. On peut penser qu'il serait utile de caractériser celui-ci selon la technique utilisée, à savoir, par tenon et mortaise, à mi-bois ou toute autre configuration.

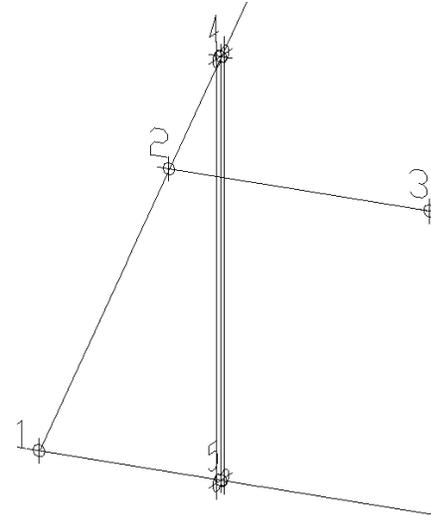


fig.7 : donnée pour la matérialisation

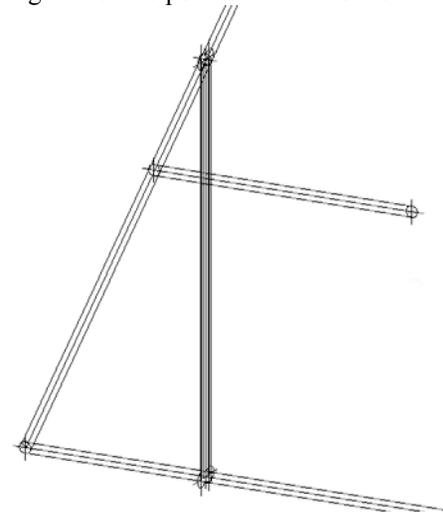


fig.8 : Tracé des contours en largeur

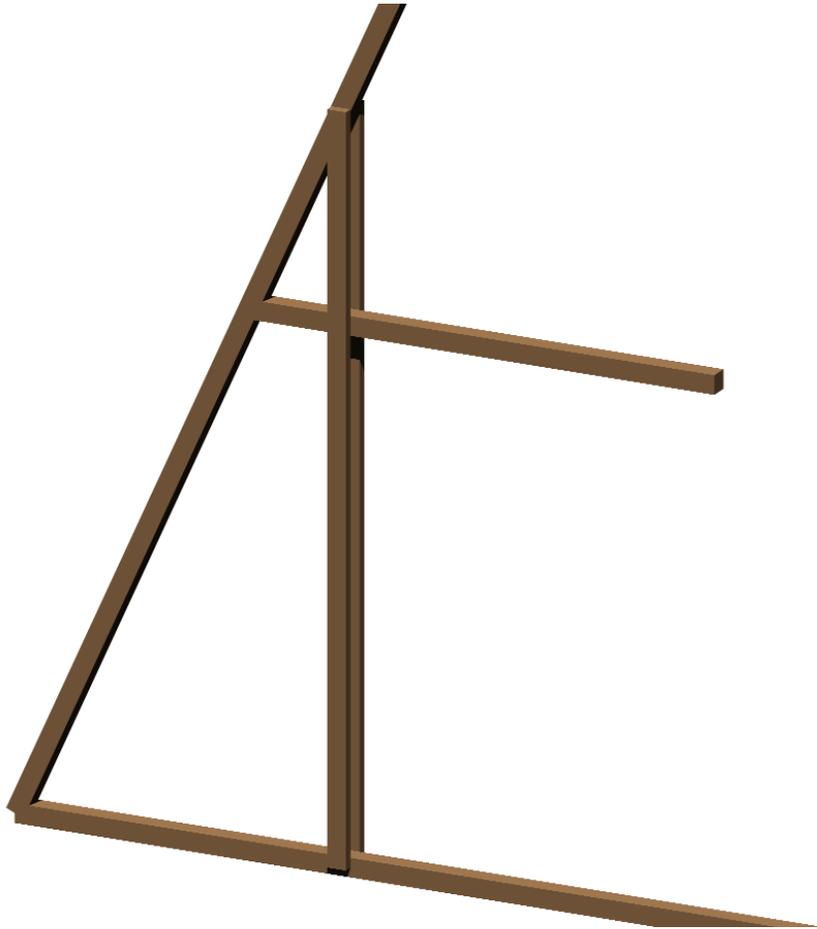


fig.9 : Matérialisation d'une structure

Conclusion :

Ce programme permettrait à l'utilisateur de définir une charpente selon une logique qui lui est propre et de la matérialiser en conformité à son relevé.

Ainsi la modélisation d'un type de charpente correspondant à une logique donnée permettrait de générer rapidement toutes les occurrences qui ne présentent que des différences dimensionnelles.

Le modèle généré a une valeur pédagogique indéniable et peut servir facilement à toutes les formes de diffusion, sur le web en particulier, et toutes les formes de muséographie. Il peut aussi permettre d'alimenter une imprimante 3D et générer les maquettes d'illustration.

On peut penser aussi que l'enregistrement des valeurs de la section des pièces de bois peuvent permettre de modifier une première valeur de décentrement des pièces pour assurer, dans tous les cas, une situation où les pièces resteront accolées ou encastrées selon un ratio déterminé.

La réalisation complète de cet outil demande nécessairement un travail important par rapport à ce simple prototype. Par contre, celui-ci a permis de prouver sa faisabilité et de définir la stratégie informatique pertinente.

Il reste donc, si l'utilité de cet outil est démontrée, à trouver les ressources nécessaires pour le réaliser.

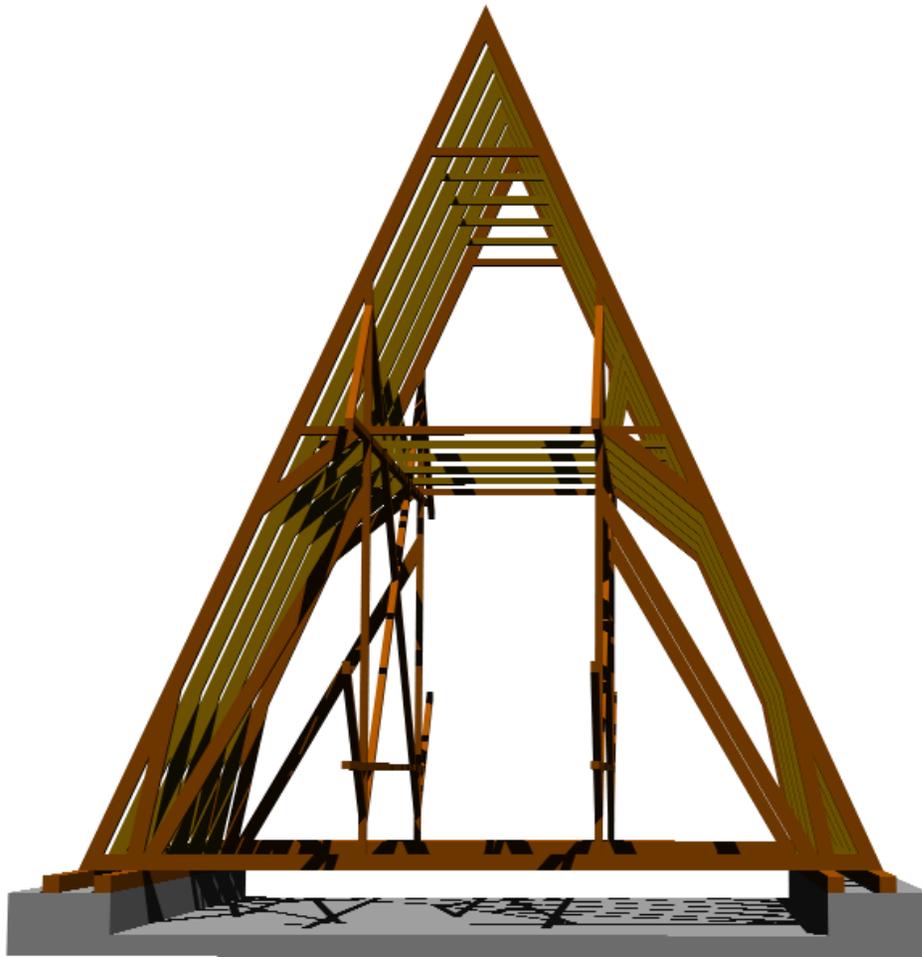


fig.10 : Modèle pouvant être issu de l'utilisation de l'outil proposé.
Perspective, vue de face

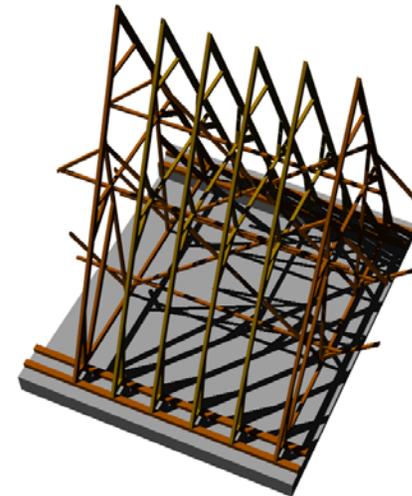


fig.11 : perspective, vue du dessus

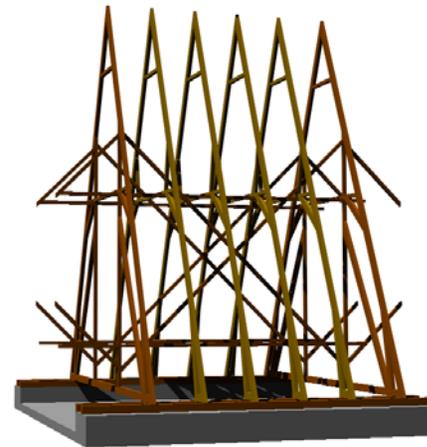


fig.12 : perspective, vue de côté

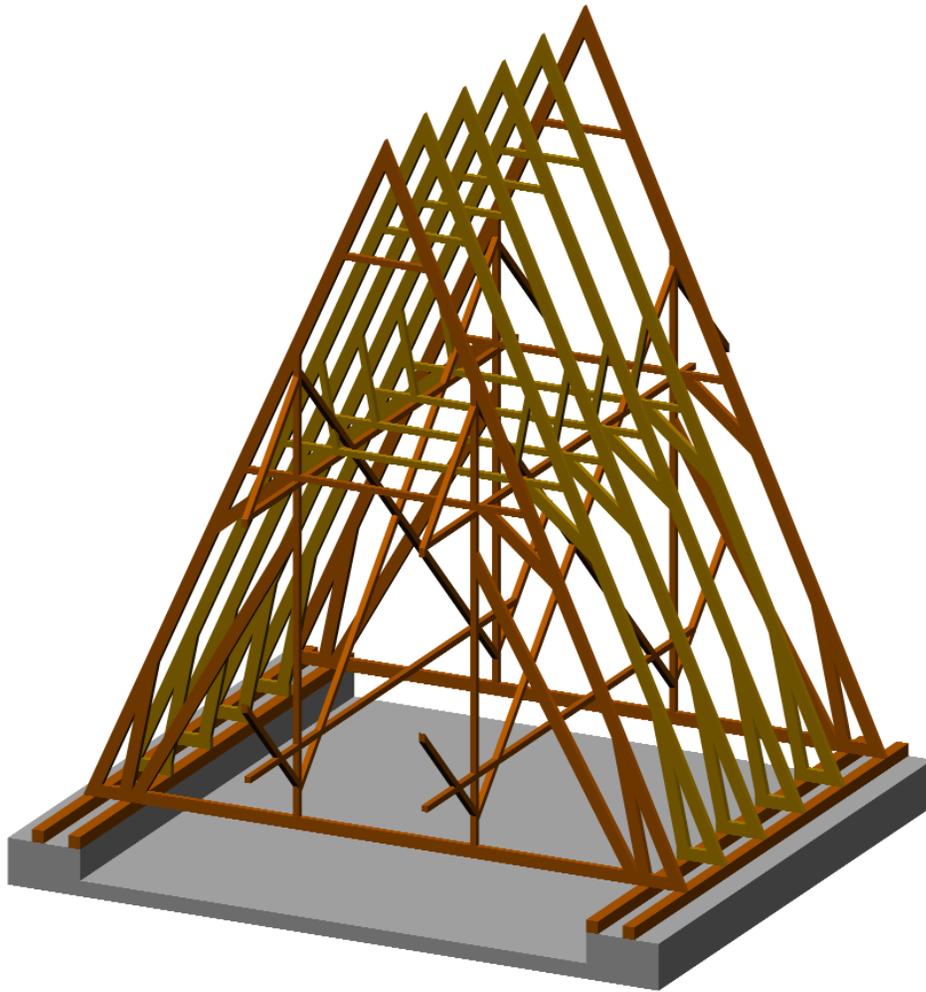


fig.13 : axonométrique

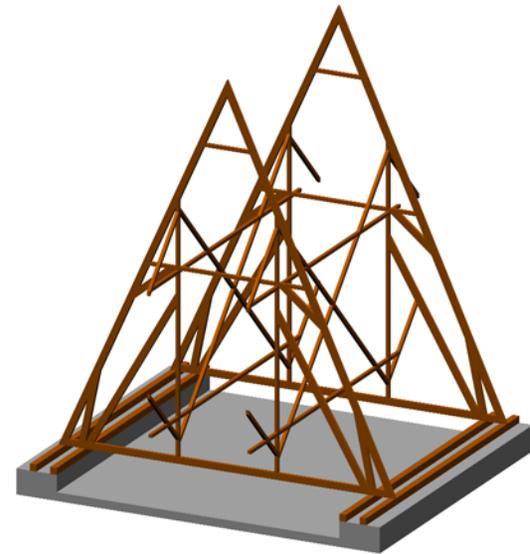


fig.14 : Axonométrique de la structure principale

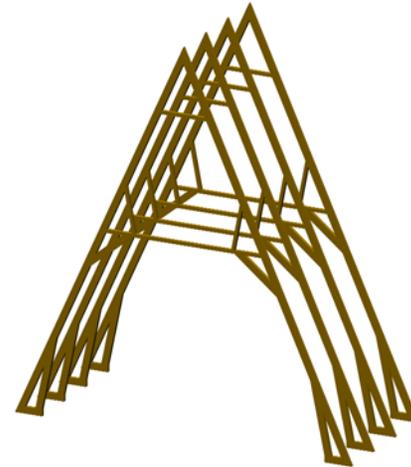


fig.15 : Axonométrique de la structure secondaire

Algorithmique :

Elle concerne la structure générale du programme, la représentation, la création et le traitement des nœuds, des liens, des plans de référence, de la matérialisation et des assemblages.

L'organisation des menus :

Le 1^{er} menu gère les grandes activités possibles :

[F]in,	Sortir du programme et nettoyer la mémoire.
[N]ouvelle séance,	Initialiser l'environnement et commencer une séance.
[O]uvrir,	Ouvrir une séance d'actions sauvegardée, l'exécuter, et se mettre en mode de continuer.
[S]auver,	Sauvegarder dans un fichier la séquence d'actions en cours
[M]atérialiser	Résoudre les assemblages et construire en solide l'ensemble des pièces de bois de la charpente.
[N]ouvelle séance :	
[F]in,	Sortir de cette option et remonter au menu général
[C]opie,	Effectuer une copie d'une composante
[F]in,	Sortir de l'option « copie »
[P]lan,	Copier un plan
[N]œud:	Copier un noeud
[P]lan,	Opération sur les plans
[N]ouveau,	Créer un plan à partir de 3 points
[D]essus (xz),	Activer l'UCS dessus
[F]ace (xy),	Activer l'UCS face
[C]ôté (zy),	Activer l'UCS côté
[A]utre:	Activer d'autres UCS déclarés
[N]œud,	Voir le tableau des options de création de noeuds
[L]ien	Créer un lien

[O]uvrir / [S]auver :

Il s'agit de permettre de lire ou écrire des fichiers de séances de construction. Il y a donc une interface permettant de nommer les fichiers, vérifier leur existence, et contrôler les

répertoires et les extensions. Un fichier d'initialisation permettra de modifier les valeurs de répertoire et extension par défaut.

[M]atérialiser :

Ce menu n'a pas de sous options puisqu'il ne fait que traiter l'information existante pour générer des solides.

NOTE :

Le menu des nœuds sous forme de fenêtre de choix devra s'appliquer à tous les autres menus.

L'option de copier un plan devra comprendre plus que les plans parallèles passant par une origine mais aussi à une distance donnée, ainsi que les plans perpendiculaires et issus d'une rotation autour d'un axe.

La création d'un lien devra aussi permettre de créer des liens mécaniques qui ne représentent pas des pièces de bois mais un lien entre 2 pièces de bois décentrées l'une par rapport à l'autre.

Initialisation :

Actuellement une séance de travail est initialisée par une fonction qui crée les plans de référence de base (dessus, face et côté, dessine leur forme et les identifie et contrôle quelques variables de base d'Autocad comme la forme des nœuds.

Les fichiers clef :

Une séance de travail est une succession ordonnée d'actions qui produisent la charpente. Elle est représentée par une liste d'actions (list-action). C'est cette liste qui est écrite dans un fichier de sauvegarde.

On utilise aussi une liste des plans de référence (list-plan) qui sont les UCS par rapport auxquels toutes les composantes de la charpente sont décrites. Cette liste n'est pas sauvegardée mais reconstituée en exécutant la liste d'action.

Relations entre les composantes de la structure générale du programme :

Chaque composante peut être définie par rapport aux autres par le biais d'une contrainte.

Ainsi un nœud pourra se définir :

À telle distance de..., dans la direction de...

À x% de, à partir de..., dans la direction de...

Parallèle à... perpendiculaire à...

Et ainsi de suite.

Une action sera donc caractérisée par 4 éléments :

- La fonction qui réalise l'action,
- Les paramètres de cette fonction pour qu'elle puisse être exécutée,
- Le résultat géométrique obtenu (point, ligne, plan)
- L'identificateur de ce résultat (nom, numéro)

Les nœuds représentent des points dans l'espace qui servent de référence pour construire géométriquement la charpente. Ils n'ont donc pas de correspondance « physique » si ce n'est peut-être, le lieu d'un assemblage.

Il est toujours construit en 2D dans un plan de référence existant (XY dans un UCS actif).

Par contre le résultat enregistré est un point en 3D dans le WCS.

Les liens sont des segments entre 2 nœuds et peuvent représenter 2 choses :

- Une pièce de bois de la charpente.
- Une attache mécanique entre deux pièces décentrées.

Dans le premier cas, le lien est toujours construit dans un plan de référence (UCS) défini qui permet d'orienter la pièce de bois dans l'espace (parallèle au plan ou perpendiculaire au plan). Il est donc aussi en 2D.

Le segment alors représente l'axe principal des fibres de la pièce de bois et celle-ci est caractérisé par une largeur et une épaisseur avec un profil uniquement *rectangulaire*.

Dans le 2^{ème} cas, le lien relie deux segments dans des plans parallèles par une normale à ces plans. Il représente un ensemble de boulons ou de chevilles qui solidarissent deux pièces de bois. Il sert à régler le problème d'un assemblage de 2 pièces décentrées l'une par rapport à l'autre jusqu'à être simplement accotées l'une sur l'autre.

Les plans de référence représentent les plans de construction dans lesquels les épures peuvent se tracer. Ils sont matérialisés par des UCS dans Autocad et nommés comme tel.

Les assemblages représentent la partie la plus complexe du système étant donné leur immense diversité.

Pour résoudre temporairement ce problème nous avons adopté le principe suivant :

Seul les assemblages entre deux ou trois pièces de bois qui sont dans le même plan de référence peuvent être résolus (À la limite, une pièce de bois qui n'appartiendrait pas au plan de référence de l'autre, pourrait être acceptée si elle coïncide avec l'intersection des deux plans et que ceux-ci soient perpendiculaires l'un à l'autre). Les assemblages de « diagonales » dans l'espace restent donc non-résolus.

Comme, pour une géométrie donnée de rencontre entre deux pièces, beaucoup de manière de les assembler sont possibles (tenon et mortaise, mi-bois, queue d'aronde et ainsi de suite), nous avons décidé de nous en tenir à construire la pièce de bois la plus grande, ce qui « double » la matière dans l'espace et de renvoyer ainsi la « découpe » de ces pièces pour réaliser l'assemblage physique à d'autres fonctions qui agiront directement sur la matière (soustraction, intersection).

La matérialisation est la dernière étape du processus de modélisation. Il a pris la forme de la construction de « solides » à partir d'un polygone 2D, dans un plan de référence orienté dans l'espace, que l'on extrude de la valeur requise.

Ces solides représentent les pièces de bois et peuvent donner lieu à toutes les représentations en synthèse d'image et même à des impressions 3D, c'est à dire à des maquettes physiques.

La 4^{ème} dimension

Le choix de cette structure de représentation permet de tenir compte du temps. Chaque action « succède » à l'autre et peut représenter la séquence de construction sur un chantier. On a donc la base d'information pour générer des animations illustrant l'acte de construire lui-même.

Orientation des segments :

Les orientations sont déterminées par rapport au plan de référence [UCS] actif.
 Les orientations sont spécifiées par deux points P1 & p2. L'ordre des points indique l'orientation. [P1-P2] de P1 vers P2 et [P2-P1] de P2 vers P1. Les angles sont pris dans le sens trigonométrique à savoir positif dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
 La perpendiculaire à une orientation se détermine par un angle de +90 degrés par rapport à la direction du segment.

Ainsi on obtient la direction P2-P3 pour la perpendiculaire à P1-P2 et P2-P4 pour la perpendiculaire à P2-P1 (fig.1 en bleu).

Le sens du vecteur permet de mesurer les distances à partir d'un point, positivement dans le sens du vecteur et négativement dans le sens contraire.

Deux fonctions sont disponibles pour ces manipulations :

[[paral](#)] pour construire la parallèle à un vecteur

[[perp](#)] pour construire la perpendiculaire à un vecteur

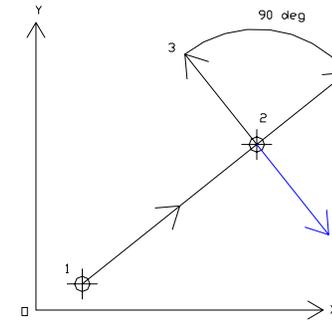


fig.1. Illustration de l'orientation des segments

Les constructions géométriques envisagées sont principalement planaires. Elles se déroulent donc dans un plan de référence ou « UCS ». Un nœud est décrit selon le format suivant :

(No
 ("pron-8"
 ("F"
 (1 18.0 2 18.0)))
 (6.46461 0.0 16.7991))

Nom de l'entité créée
 Nom de la procédure de création
 Nom du plan de construction (UCS)
 Paramètres de la procédure
 Point résultant dans le WCS

18 procédures de construction d'un nœud sont offertes :

De façon aléatoire :

- Par un simple click de souris
- Par coordonnées x & y

Par rapport à 2 points:

- Par rapport à 2 points [p1 & p2] et 2 distances à ces points [d1 & d2]

Par rapport à un point [P0] , une direction et une distance :

- sur un vecteur [P0-P1],

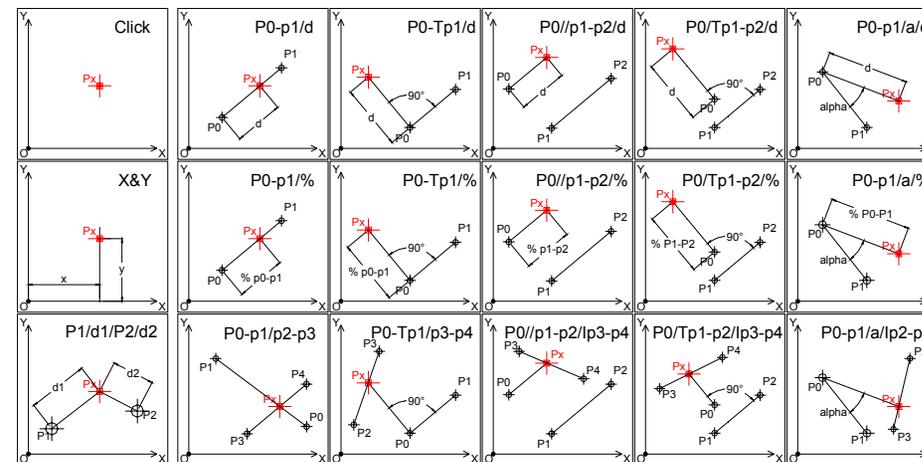


fig.2. Tableau des procédures de construction d'un nœud.

- sur un vecteur perpendiculaire à un segment [P0-P1],
- sur un vecteur passant par [P0] et parallèle à un segment [P1-P2],
- sur un vecteur passant par [P0] et perpendiculaire à un segment [P1-P2],
- sur un vecteur formant un angle A avec le segment [P0-P1],
- à une distance donnée de P0,
- à un pourcentage de la distance [P0-P1] de P0,
- Jusqu'à l'intersection avec un segment [P2-P3] ou [P3-P4].

D'autres procédures issues de la manipulation des liens et des plans vont aussi créer des nœuds comme la copie de nœuds d'un plan à un autre.

Tout point construit l'est par rapport à un plan de référence et toute coordonnée dans les paramètres de la procédure est relative à l'UCS de ce plan. Par contre, les résultats, dernier élément de l'action, sont donnés par rapport au WCS, système général 3D de coordonnées.

Les plans de référence :

Ce sont les UCS dans lesquels on exécute les constructions géométriques planes. On initialise les plans de base à savoir :

- « D » passant par l'origine YOX. Il est identique au WCS. Vue de Dessus
- « F » passant par l'origine XOZ. Vue de Face.
- « C » passant par l'origine ZOY. Vue de Côté.

Le sens des axes est indiqué par le UCSICON actif et chaque plan est représenté par un carré construit sur OX et OY de 20 unités de côté.

Création d'un plan de référence :

5 procédures sont disponibles :

- Un plan parallèle à un plan existant et dont l'origine est un point existant
- Un plan parallèle à un plan existant à une distance donnée de celui-ci.
- Un plan perpendiculaire à un plan existant et dont l'origine est un point existant
- Un plan symétrique à un plan existant par rapport à un plan donné.
- Un plan issu de la rotation d'un plan existant autour d'un axe donné.
- Un plan défini par 3 points, l'origine O, un point Px sur l'axe des X et un point Py sur l'axe des Y.

À noter que, dans ce dernier cas, O-Px forme l'axe OX et que O-Py sera remis perpendiculaire au vecteur O-Px dans le plan formé par Px-O-Py. (fig.2). La représentation adoptée est un triangle passant par les 3 points formant le plan.

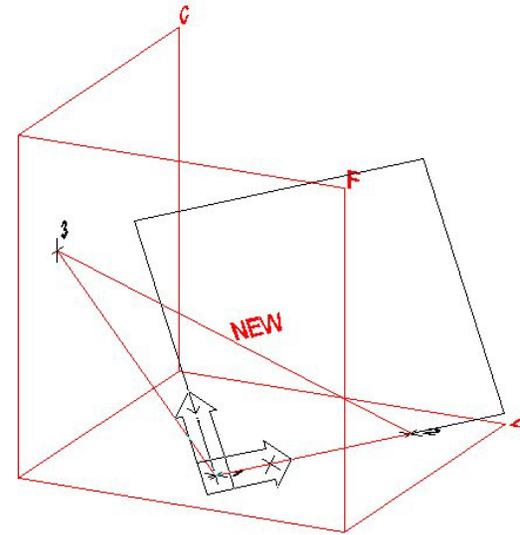


fig.2 : Construction d'un nouveau plan « NEW » par 3 points 1, 2, 3, sa représentation par un triangle et ses axes en noir.

La description d'un plan de référence est la suivante :

("F1"	Nom du plan de référence
("proc-0"	Procédure de création
("W" ("F" 3)))	Paramètres de la procédure
((0.0 0.0 0.0)	Origine dans le WCS
(1.00 0.0 0.0)	Px dans le WCS
(7.59279 0.0 18.5027)))	Py dans le WCS

Ainsi toutes les orientations de plan peuvent être définies

Les segments :

Ils relient des nœuds existants, et représentent soit une pièce de bois, soit un assemblage mécanique.

Ainsi un segment peut contenir plusieurs nœuds s'il s'agit d'une seule pièce de bois qui sert de support à plusieurs autres. Au contraire, plusieurs segments alignés représenteront plusieurs pièces de bois bout à bout. La différence est fondamentale pour l'analyse structurale.

Dans la figure 3 le segment [1-2] représente une seule pièce de bois. Les pièces [3-5] & [4-6] y aboutissent et définissent un assemblage à résoudre alors que la pièce [7-8] croise la pièce [1-2] sans qu'aucune des deux interrompe sa continuité.

À noter que l'absence d'intersection entre [1-2] & [7-8] fera que l'assemblage des deux pièces ne sera pas traité.

Le format d'un segment est le suivant :

("1-3"	Nom du segment
("prol-0"	Procédure de construction
("F1" (1 3 1.1 1.9)))	Paramètres de la procédure
((0.0 0.0 0.0)	XYZ de l'origine dans le WCS
(7.59279 0.0 18.5027)))	XYZ de la fin dans le WCS

Note : "1-3" Le nom du segment est le résultat de la concaténation du No du premier sommet, un "-" et le No du dernier sommet .1.1 & 1.9 sont les valeurs de la largeur et épaisseur de la pièce de bois représentée par le segment 1-3.

Ils sont créés par rapport au plan de référence actif.

La nécessité de traiter le plan de référence dans lequel le segment est construit devient évident lors de la matérialisation de ce segment (Fig.4) .L'orientation de la coupe rectangulaire dépend de ce plan. Un segment déclaré dans un plan ou dans un autre, même s'il appartient aux deux, n'aura pas la même orientation. Si les plans sont perpendiculaires la signification de largeur/épaisseur est inversée (largeur : dans le plan, épaisseur : perpendiculairement au plan).

Une vérification doit être faite afin de ne pas accepter de sommets qui ne soit pas dans un même plan de référence cela sans se fier uniquement au nom du plan de référence déclaré

pour ce sommet. En effet, un nœud peut appartenir à plusieurs plans de référence bien qu'il ait été construit par rapport à un seul fig.5.

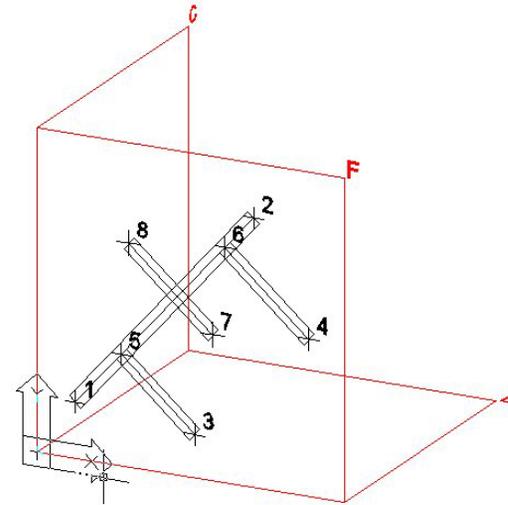


fig.3 : construction des segments et leur signification matérielle

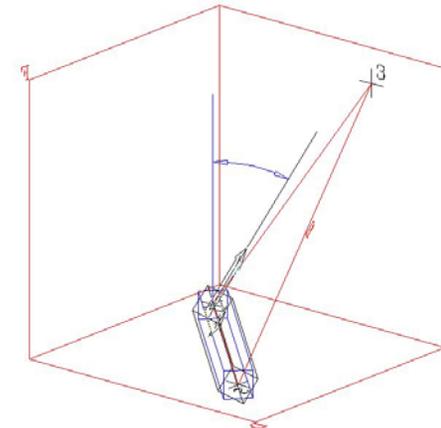


fig.4 : Plan de référence et orientation des pièces de bois

Sur la figure 5, le plan actif [F1] est un plan parallèle au plan [F] dont l'origine est en [1]. Le point [4] est construit dans le plan [F1] alors que les points [1] & [3] ont été construits dans le plan [D]. Cependant le point [1] appartient aux plans [D],[C] et [F1], le point [3] aux plans [D],[F1] et [C1] et le point [4] aux plans [C1] et [F1]. Le segment [1-4] est donc acceptable alors que la création du segment [2-4] demande de changer le plan de référence pour [C1].

Il pourrait être acceptable aussi que le segment soit parallèle au plan de référence actif. La vérification peut facilement être faite en s'assurant que les valeurs Z des deux sommets transformés dans l'UCS du plan soient égales.

Les assemblages :

Il y a une relation directe entre les liens et les assemblages. On peut considérer, dans un premier temps, qu'il y a assemblage lorsque deux segments partagent un même nœud. Beaucoup de configurations sont possibles et certains assemblages sont particulièrement complexes, particulièrement quand beaucoup de pièces convergent plus ou moins vers le même nœud. On ne retiendra, pour commencer, que les assemblages suivants (fig.6):

- Deux pièces de bois qui partagent une même extrémité,
- Deux pièces de bois dont l'extrémité de l'une est sur l'axe de l'autre,
- Deux pièces de bois dont les axes se croisent.
- Deux pièces de bois qui partagent une même extrémité sur l'axe d'une 3^{ème}.
- Trois pièces de bois qui partagent la même extrémité.

Chaque cas peut donner lieu à divers assemblages physiques comme à mi-bois, à tenon et mortaise ou à queue d'aronde.

Les assemblages mécaniques et les décentrement :

Les assemblages sont déterminés par des pièces de bois qui partagent un même nœud. Pour cela il faut que l'axe moyen des fibres soient dans un même plan. Or, beaucoup de configurations impliquent un décentrement de l'axe moyen des fibres. On peut passer d'une jonction centrée à une jonction où les pièces de bois partagent une face soit du même côté soit même de côté opposé. Elles peuvent se retrouver simplement superposées. L'assemblage peut alors devenir simplement mécanique par le biais d'un boulonnage ou chevillage entre les deux pièces (fig.7).

On se retrouve donc avec des assemblages même si le nœud n'est pas partagé par deux segments. On adoptera donc un segment qui représente cette fois un assemblage mécanique au lieu d'une pièce de bois (fig.8).

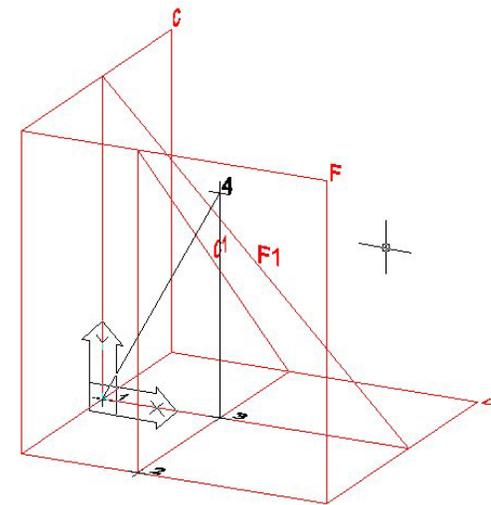


fig.5 : construction d'un segment dans un plan de référence

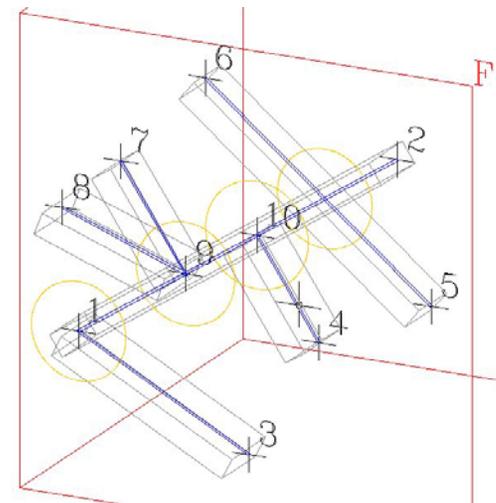


fig.6 : 4 assemblages étudiés à deux et trois pièces

Ce segment représente la distance la plus courte entre deux segments. Ceux-ci sont toujours dans des plans parallèles.

La procédure peut prendre deux formes :

D'un côté, on procède à une construction complète :

- Construction d'une nouvelle origine à la distance de décentrement requis.
- Construction d'un plan parallèle au plan de référence passant par la nouvelle origine [F1].
- Copie des sommets du lien [1 & 2] dans ce nouveau plan [5 & 6]
- Construction du segment décentré et des deux segments d'assemblage mécanique [5-6] et [5-1], [6-2].

D'un autre côté on peut faire appel à une macro qui accomplira l'ensemble de ces tâches.

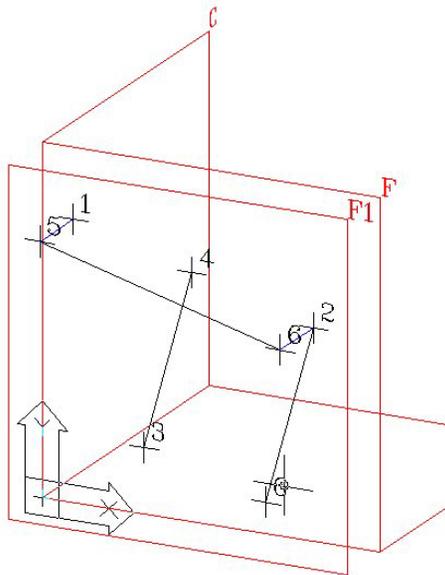


fig.8 : Construction étape par étape d'un assemblage mécanique

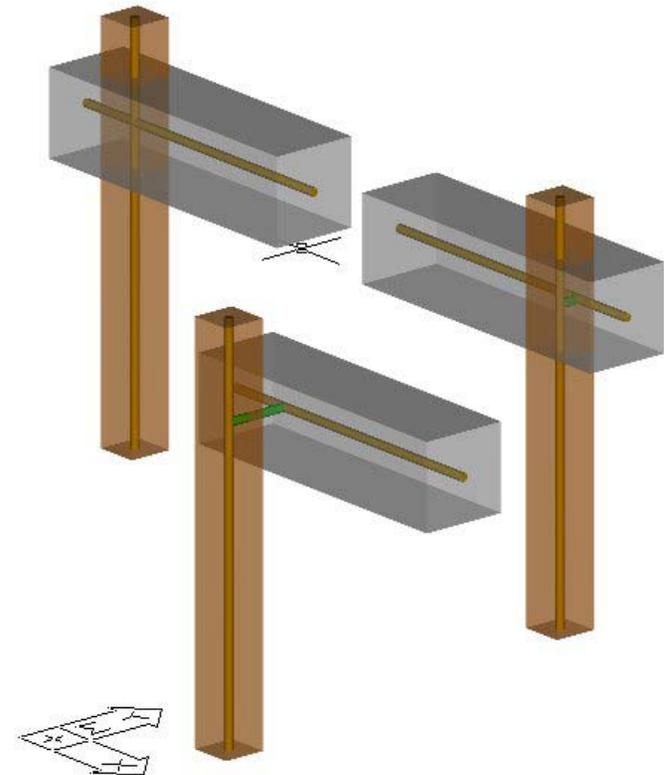


fig.7 : position relative de deux segments de dimensions inégales :

- Centrés,
- Décentrés de façon à ce qu'une face soit commune et les pièces complètement imbriquées,
- Décentrés de façon à ce que les pièces ne font que s'affleurer.

La Copie des nœuds et liens :

On peut considérer que les constructions faites par rapport à un plan de référence, nœuds ou liens, peuvent être copiés sur un autre plan puisque les paramètres qui les définissent sont relatifs au plan de référence. En particulier, la copie d'une ferme définie dans un plan frontal par exemple, peut être faite dans une série de plans parallèles à celui-ci, assurant rapidement la construction d'un ensemble de fermes parallèles. La copie se fait en reportant les mêmes X&Y d'un plan à l'autre.

Les macros :

Enfin, les procédures de base comme la création d'un nœud ou d'un lien peuvent être combinés pour des actions plus globales sous la forme de macros. Il faudra voir ce qui serait le plus pratique.

Exemples de résolution d'assemblage :

Assemblage de 2 pièces partageant la même extrémité.

Les vecteurs A et B sont déclarés en succession : P0-P1 & P1-P2. On construit les « offset » de chaque pièce selon la largeur de chacune pour obtenir P01-P11-P12-P02 d'un côté et P13-P23-P24-P14 de l'autre côté. Selon que l'angle alpha est compris entre 0 et 180 degrés ou 0 et -180 degrés, on a deux cas :

Pa+b+/Pa-b+ donne la limite intérieure ou extérieure de la pièce A

Pa+b-/Pa-b- donne la limite extérieure ou intérieur de la pièce A.

On trouve la même relation pour la pièce B.

Selon que l'on choisit d'appuyer la pièce A sur la pièce B ou l'inverse ou encore que les deux pièces se croisent à mi-bois, le nœud sera traité différemment. On a choisi donc de retenir la pièce maximum et d'avoir 2 fois de la matière à l'assemblage, ce qui permet de le traiter ensuite par opérations booléennes si nécessaire.

Remarque qu'un décentrement des pièces A & B ne change rien à la construction des points.

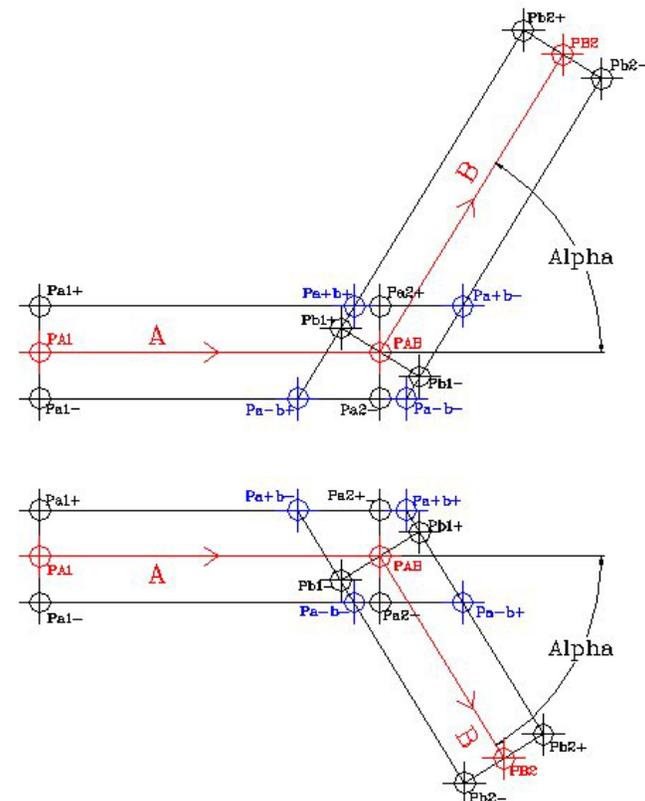


fig.9. Exemple de traitement de deux pièces partageant la même extrémité. Les points clés sont calculés et remplacent la description de l'extrémité de la pièce.

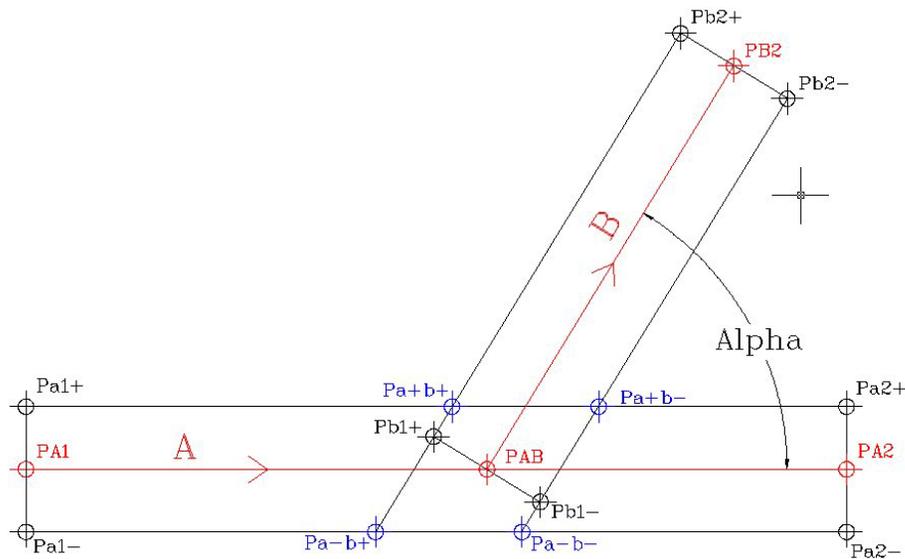


fig. 10. Autre exemple d'assemblage lorsqu'une pièce abouti le long d'une autre. Les points clefs sont calculés et l'extrémité de la pièce B est modifiée en conséquence.

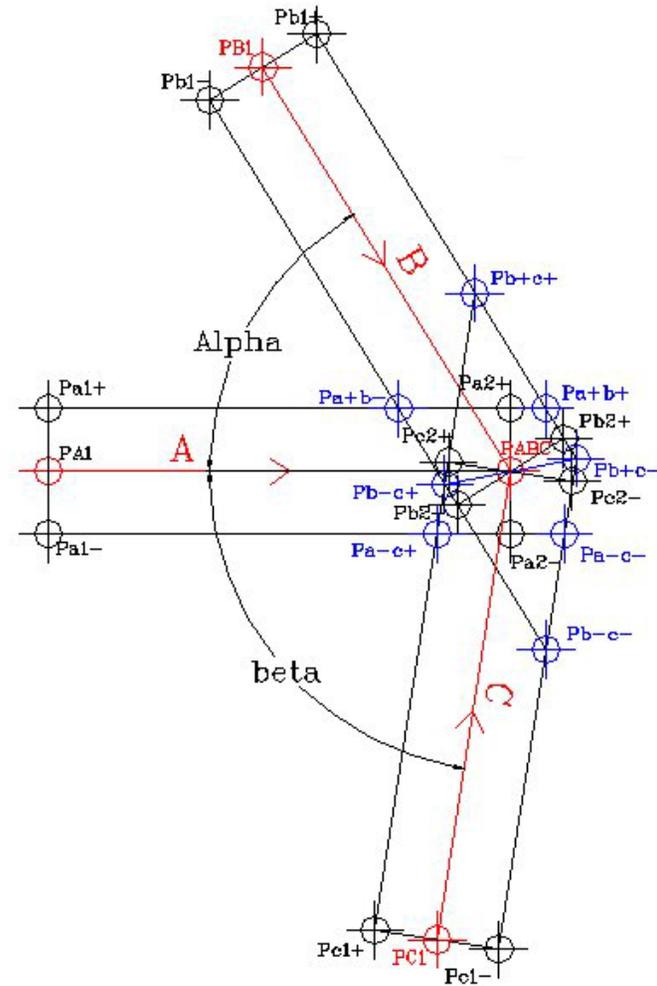


fig. 11. Exemple d'un assemblage de 3 pièces. 8 points sont calculés et les extrémités des pièces A, B et C sont modifiées en conséquence.

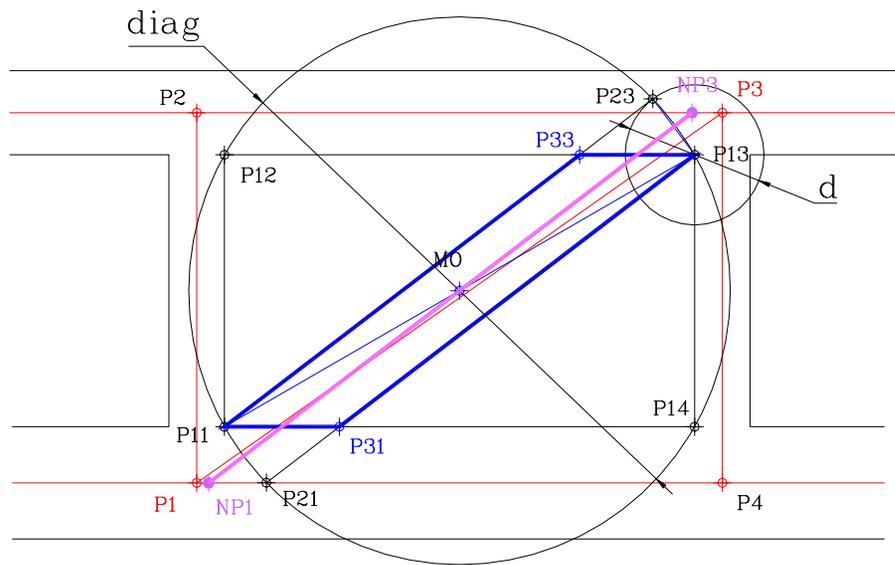


fig. 12. Modification d'un segment en fonction d'un assemblage désiré qui tient compte de la largeur des pièces.

Certains assemblages peuvent nécessiter de redéfinir les segments et les nœuds pour tenir compte de la dimension des pièces de bois (fig. 12).

Stratégie de traitement :

On commencera par extraire, dans une liste, toutes les actions menant à la construction d'un lien.

Pour chaque lien on examine pour chaque extrémité, si elle est partagée par un autre lien ou si elle se trouve sur un segment existant. On ne retient que ceux qui sont construits dans le même plan de référence. On construit donc ainsi une liste comprenant :

La définition du segment étudié.

La liste des définitions de segment qui précèdent celui-ci (même sommet ou sommet sur la longueur du segment).
La liste des définitions de segments qui suivent celui-ci (même sommet ou sommet sur la longueur du segment).

Enfin on traite cette nouvelle liste pour envoyer chaque extrémité du segment à la procédure correspondant à son cas.

On obtient donc, en finale, une liste de points dans le plan de référence formant un polygone fermé que l'on peut créer et extruder à la bonne épaisseur pour générer la pièce de bois.

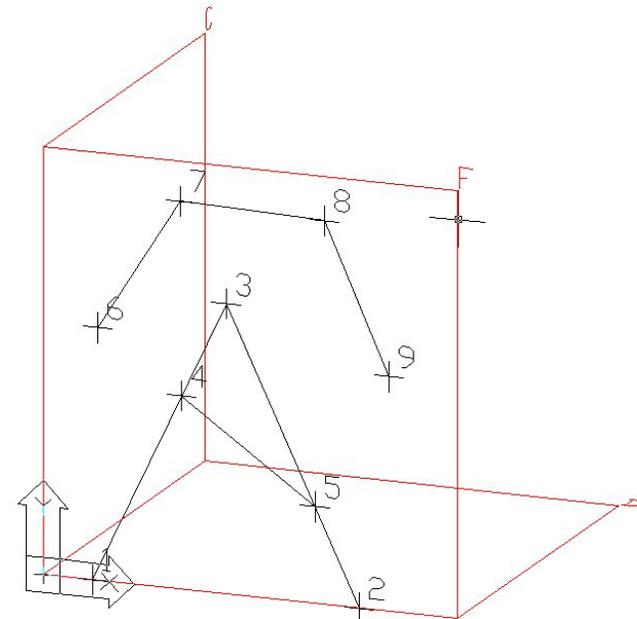


fig. 13. Première étape de la matérialisation. Le schéma des liens est fixé [1-3],[2-3],[4-5],[6-7],[7-8],[8-9].

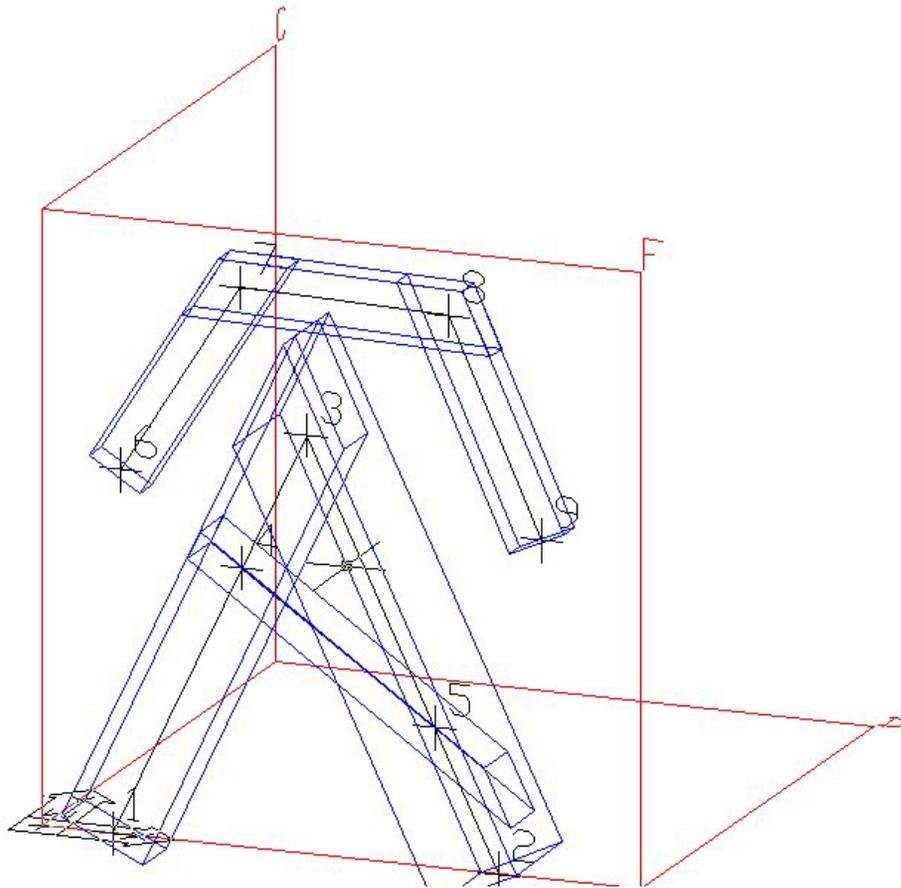


fig.14. Les pièces sont construites en raison de leur largeur et profondeur déclarée, l'assemblage est traité à chaque extrémité selon les conditions. Un polygone fermé est établi pour chaque pièce et enfin il est extrudé à l'épaisseur déclarée et déplacé perpendiculairement au plan de référence pour que sa ligne d'axe corresponde au segment



fig.15 Résultat solide obtenu après traitement

Liste des fonctions chargées par [charpente.lsp](#)

(load "matrice")

(matrice) Chargement de toutes les fonctions matricielles

(load "init")

(load "pro")

(load "perp")

(load "paral")

(load "construction")

(load "defl-0")

(load "defp-0")

(load "defc-0")

(load "defc-1")

(load "defn-0")

(load "defn-1")

(load "defn-2")

(load "defn-3")

(load "defn-4")

(load "defn-5")

(load "defn-6")

(load "defn-7")

(load "defn-8")

(load "make-noeud")

(load "matiere") Ensemble de plusieurs fonctions

(load "prop-0")

(load "proc-0")

(load "proc-1")

(load "prol-0")

(load "pron-0")

(load "pron-1")

(load "pron-2")

(load "pron-3")

(load "pron-4")

(load "pron-5")

(load "pron-6")

(load "pron-7")

(load "pron-8")

(load "action")

(load "reaction")

(load "foption")

(load "r-w-liste") Ensemble de plusieurs fonctions