

« Mémoire d'ingénieur »

Développement de logiciels de calculs de
structures bois et métal.

Elève : M. Romain PINQUIE

Promotion : ESTIA 2012

Entreprise : ECTA

Tuteur entreprise : M. Christophe PAINGAUD

Tuteur pédagogique : M. Olivier PATROUX

Date du stage : Du 01/02/2010 au 26/03/2010

Année 2009-2010

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du bureau d'études E.C.T.A (Etudes et Coordination Technique d'Aquitaine).

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Patrick POUDES, gérant de la société, et Francis GOURGUES, directeur commercial, pour m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de leur entreprise.

Je remercie vivement mon tuteur d'entreprise Monsieur Christophe PAINGAUD, directeur technique et ingénieur calculateur pour l'appui scientifique et pour sa disponibilité durant ces deux mois de stage.

Je tiens également à remercier Monsieur Olivier PATROUX, responsable des études, d'avoir instauré un stage industriel dès la première année du cycle ingénieur ESTIA.

Je tiens aussi à remercier tout le personnel de la société ECTA: R. LILLE, R. MARQUIS, P. RUEDA, J. MARTIN, V. DAVID, A. VAUR, E. GOURGUES, O. CASTAGNET, F. GARBAY, Fr. GOURGUES, S. CASTRO pour sa disponibilité, sa convivialité, et sa bonne humeur.

Fiche de renseignements Entreprise

Date de création de cette fiche : 23/02/2010

ENTREPRISE : SARL E.C.T.A

Adresse : 35, Rue de Bielle

CP : 64121

VILLE : SERRES CASTET

CEDEX:

Téléphone : 05.59.33.16.36

Fax : 05.59.33.97.24

Nom de :

Gérant : Patrick POUDES

Directeur Commercial : Francis GOURGUES

Directeur Technique: Christophe PAINGAUD

Responsable Bureau d'Etudes : Robert LILLE

Responsable de stage : Christophe PAINGAUD

Activité de l'entreprise : Structures métalliques et enveloppe de bâtiments

Principaux clients : TROISEL ; CANCE ; CASTEL ET FROMAGET.

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION.....	7
I.1	THEME DU PROJET	7
I.2	PLAN DU MEMOIRE	7
II.	PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	8
II.1	HISTORIQUE.....	8
II.2	ORGANISATION.....	8
II.3	DOMAINES D'INTERVENTION.....	9
II.4	MOYENS	9
III.	QUELQUES REALISATIONS.....	10
IV.	ETUDE DE PROJET	11
IV.1	SUJET DE L'ETUDE	11
IV.2	ETUDE DU BESOIN.....	11
IV.3	ANALYSE DU PROBLEME	11
IV.3.1	Description fonctionnelle	11
IV.3.2	Calculs R.D.M.....	12
IV.3.2.1	Caractéristiques intrinsèques du bois	12
IV.3.2.1.1	<i>Influence de l'humidité.....</i>	<i>12</i>
IV.3.2.1.2	<i>Phénomène de fluage.....</i>	<i>12</i>
IV.3.2.2	Solive.....	12
IV.3.2.2.1	Définition.....	12
IV.3.2.2.2	Sollicitations totales pondérées.....	13
IV.3.2.2.3	Charges	13
IV.3.2.2.4	Contraintes.....	14
IV.3.2.2.5	Déformées.....	18
IV.3.2.3	Panne	19
IV.3.2.3.1	Définition.....	19
IV.3.2.3.2	Sollicitations totales pondérées :	19
IV.3.2.3.3	Charges	20
IV.3.2.3.4	Contraintes.....	20
IV.3.2.3.5	Coefficient M_f & T aux points critiques	24
IV.3.2.3.6	Déformées.....	25
IV.3.2.4	Plaques métalliques	26
IV.3.2.4.1	Définition.....	26
IV.3.2.4.2	Charges	26
IV.3.2.4.3	Contraintes.....	26
IV.3.2.4.4	Déformées.....	27
IV.4	ETAT DE L'ART	28
V.	CONCEPTION DES LOGICIELS.....	30
V.1	OBJECTIFS DES LOGICIELS	30
V.2	ARCHITECTURE.....	30
V.2.1	Vue générale.....	30
V.2.2	Feuilles de calculs	31
V.2.2.1	Feuille des caractéristiques.....	31
V.2.2.2	Feuilles de calculs RDM	31
V.2.2.2.1	<i>Feuille de calculs solive.....</i>	<i>31</i>
V.2.2.2.2	<i>Feuille de calculs panne</i>	<i>33</i>
V.2.2.3	Feuilles de présentation	34
VI.	REALISATIONS ET RESULTATS.....	35
VI.1	LES LOGICIELS	35

VI.1.1	Structures et description globale	35
VI.1.1.1	Calculs bois	35
VI.1.1.2	Flexion des plaques métalliques	35
VI.1.2	Limites.....	36
VI.1.3	Outils d'analyse et de modélisation.....	38
VI.1.3.1	R.D.M 6 le Mans	38
VI.1.3.2	Excel.....	38
VI.2	FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL	39
VI.2.1	Validation des résultats	39
VI.2.2	Etat actuel et avenir du projet.....	40
VII.	GESTION DU PROJET	40
VIII.	CONCLUSION.....	42

GLOSSAIRE

- **R.D.M** : Résistance Des Matériaux (mécanique des milieux continus)
- **H** : Taux d'humidité après sa mise en œuvre
- ΔH : Variation du taux d'humidité
- Θ : Coefficient de fluage
- **C.P** : Charges Permanentes
- **S** : Surcharges d'exploitation
- **Pve₍₊₎** : Vent ascendant
- **Pve₍₋₎** : Vent descendant
- **Pn** : Neige
- **Y_{ve}** : Coefficient vent extrême
- **Y_{ne}** : Coefficient neige extrême
- **Y_{n.acc}** : Coefficient neige accidentelle
- **P** : Charge (solicitation pondérée)
- **l** : Longueur
- **b** : Base
- **h** : hauteur
- **M_{fz}** : Moment de flexion autour de l'axe Z
- **I_{gz}** : Moment quadratique autour de l'axe Z
- σ_f : Contrainte de flexion réelle
- $\sigma_{f\infty}$: Contrainte de flexion réelle à long terme
- $\sigma_{f.adm}$: Contrainte de flexion admissible
- $\sigma_{f.conv}$: limite d'élasticité à la flexion simple instantanée conventionnelle
- **S_c** : Surface soumise à la compression
- σ_t : Contrainte de compression transversale (ou perpendiculaire) réelle
- $\sigma_{t.adm}$: Contrainte de compression transversale admissible
- $\sigma_{t.conv}$: Limite d'élasticité à la compression transversale conventionnelle
- τ : Contrainte de cisaillement réelle
- τ_{adm} : Contrainte de cisaillement admissible
- τ_{conv} : Limite d'élasticité au cisaillement longitudinal conventionnelle
- **f_i** : Flèche instantanée
- **f_∞** : Flèche longue durée
- **f_t** : Flèche totale

I. INTRODUCTION

I.1 Thème du projet

Depuis toujours, les charpentes sont généralement conçues à partir de deux matériaux : le métal ou le bois. On remarque en règle générale que la charpente bois est communément utilisée dans la construction des logements particuliers pour des raisons de procurations et d'esthétiques, tandis que les propriétés mécaniques de la charpente métallique sont plus adaptées aux bâtiments de grande envergure comme ceux de l'industrie. Cependant, de nos jours les tendances viennent à s'inverser, le métal est devenu très courant dans la construction des maisons contemporaines, alors que le bois est mis en œuvre dans les constructions industrielles pour donner à la fois aux bâtiments et indirectement à la société une image écologique et moderne.

La société ECTA spécialisée dans la structure métallique et l'enveloppe de bâtiments, a pris conscience de part la situation économique et écologique du monde actuel du besoin de diversifier ses compétences. De ce fait, elle propose à ce jour de faire différentes études pour les éléments de constructions de type métallique mais aussi de type bois.

La conception des charpentes bois emmène à retrouver régulièrement deux types de pièce : solive et panne. La direction m'a donc donné l'opportunité d'automatiser le dimensionnement de ces deux pièces que je décrirai plus loin.

D'une part, l'objectif du projet est de réaliser des calculs de Résistance Des Matériaux (RDM), dont le but est de définir un profilé de construction capable de résister à l'ensemble des efforts qui lui sont appliqués. Il faut savoir que les calculs des éléments bois sont quelques peu différents des éléments métalliques, certaines propriétés intrinsèques à ce matériau doivent être prises en compte.

D'autres parts, il est nécessaire d'automatiser l'ensemble des calculs dans le but d'être réutilisables dans le futur. Effectuer une étude théorique à chaque fois que l'on rencontre une solive ou une panne serait une perte de temps et de moyen pour la société. De plus l'interface entre l'utilisateur et l'ensemble des calculs doit être simple d'utilisation. Tout calculateur doit être capable de prendre facilement en main le logiciel, ce qui n'est pas le cas d'un logiciel de calculs de structures, assisté par ordinateur.

Pour finaliser mon stage, j'ai eu l'opportunité d'automatiser le calcul des plaques métalliques (rectangulaires et circulaires). Ces éléments se dimensionnent généralement avec des logiciels spéciaux utilisant la méthode des éléments finis, néanmoins des formules et des tables ont été établies par des spécialistes de la résistance des matériaux. C'est donc à partir d'ouvrages scientifiques que j'ai créé deux logiciels utiles à leurs dimensionnements.

Ce thème m'offre en partie la possibilité de mettre en œuvre l'enseignement théorique suivi à l'Institut Supérieur de Technologie de Génie Mécanique, mais aussi d'être confronté aux règles de calculs des structures.

I.2 Plan du mémoire

Le mémoire sera présenté en trois grandes parties :

Dans un premier temps, je vais retracer l'historique de la société ECTA et en faire sa présentation générale (organisation, domaines d'intervention, moyens de l'entreprise).

Dans un second temps, je décrirai l'évolution du projet (étude du besoin, description théorique des calculs de résistance des matériaux, conception des logiciels de calculs, résultats obtenus).

Pour finir, j'établirai un bilan de la situation ainsi qu'une appréciation du projet réalisé et du séjour dans l'entreprise.

II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

II.1 Historique

La Société ECTA (SARL au Capital de 120 000 F) située dans la région paloise (Serres-Castet) a été créée en 1981 par trois associés: Patrick POUDES, Francis GOURGUES et François CHARLES. L'activité du bureau d'études était particulièrement spécialisée en Structures Métalliques, intervenant pour le compte de maîtres d'œuvres, Architectes et constructeurs métalliques.

En 1992, départ de Monsieur F. CHARLES à la retraite. Après le rachat partiel de ses parts, le Capital Social est porté à 120 000 F.

A ce jour, le Bureau d'Etudes ECTA emploie 12 personnes sur le site de Serres-Castet et a participé à plus de 3100 constructions de tailles très diverses et a acquis une notoriété chez les professionnels de la structure métallique, ainsi que chez les Maîtres d'Ouvrages.

II.2 Organisation

La société E.C.T.A est administrée par trois actionnaires (un gérant, un directeur technique et un directeur commercial), qui dirigent des techniciens projeteurs et dessinateurs, des ingénieurs calculateurs, des agents de maîtrise d'œuvre et des responsables administratifs. Le bureau d'études est géré par un ingénieur calculateur et chaque dirigeant prend part à un des corps de métier.

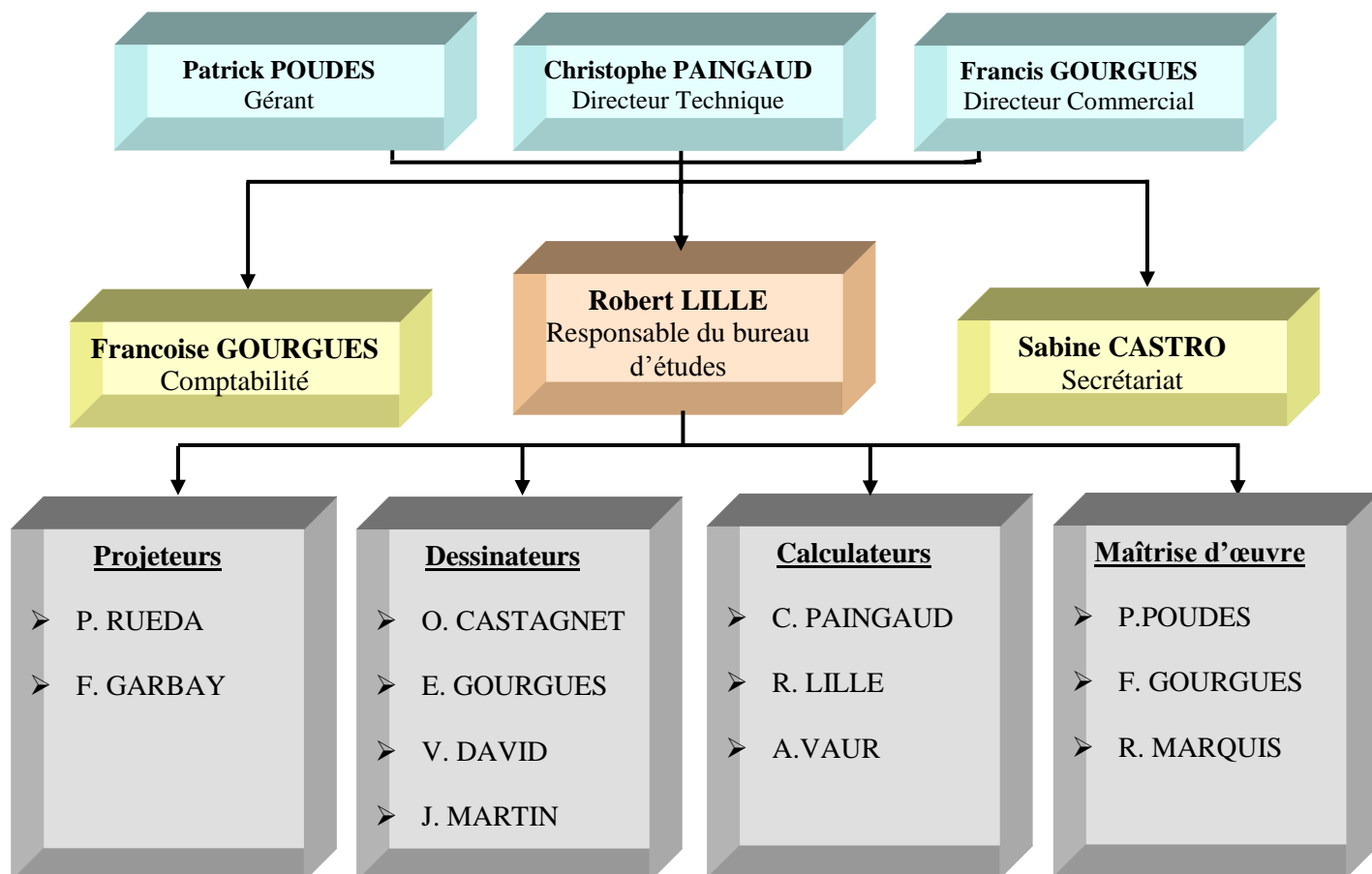


Figure 1 : Organisation du Bureau d'Etudes E.C.T.A.

- **Gérant :** Gère, dirige et administre le compte de l'entreprise.
- **Directeur technique :** Supervise la partie technique propre aux chantiers.
- **Directeur commercial :** Assure la prospection, interlocuteur privilégié avec le pôle technique.
- **Responsable du bureau d'études :** Gère les plannings, et le temps passé par projet.
- **Dessinateur -Projeteur :** Effectue les mises en plan de structure.
- **Calculateurs :** Rédige les notes de calculs qui justifient la conformité des structures.
- **Maîtrise d'œuvre :** Assure les démarches environnementales et administratives des chantiers.

II.3 Domaines d'intervention

Le bureau d'études ECTA spécialisé en structures métalliques et l'enveloppe de bâtiments intervient dans tous types de missions concernant des ouvrages neufs ou à rénover.

- ***Interventions en collaboration avec des Architectes et Maîtres d'Oeuvre :***
 - Elaboration de budgets prévisionnels, coûts de construction.
 - Elaboration de pièces de marchés pour toutes les phases conformément à la Loi MOP.
- ***Interventions en études spécifiques :***
 - Structures métalliques de bâtiments industriels.
 - Structures Off-Shore.
 - Structures à câbles.
 - Structures métalliques tri-dimensionnelles.
 - Façades métalliques, murs rideaux.
 - Tous types de couvertures et de bardages.
- ***Rénovations d'ouvrages existants :***
 - Diagnostics et expertises d'existants.
 - Renforcements de structures métalliques.
 - Rénovations de toitures et de façades.
- ***Etude et préparation atelier :***
 - Note de calculs et étude d'exécution de structures métalliques.
 - Plan de fabrication et d'atelier de structures métalliques.
 - Plan de calepinage et de détail de mise en œuvre des matériaux d'enveloppe du bâtiment.
 - Métrés et nomenclatures de structures et de matériaux.

II.4 Moyens

L'activité principale de la société ECTA reste principalement l'étude des bâtiments industriels, en particulier la conception des charpentes métalliques. Par conséquent, son bureau d'études est doté d'outils de dessins et de calculs sophistiqués:

- AUTOCAD 2008 : logiciel de dessin utilisé pour établir les mises en plan.
- TEKLA STRUCTURES : logiciel de conception de structures.
- AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2010: logiciel de calculs de structures.
- MS PROJECT : logiciel qui permet la planification de projet.

Tout d'abord, il faut savoir que l'acquisition d'une licence d'utilisation d'un de ces logiciels reste très onéreuse. Dans l'objectif d'une meilleure rentabilité, il peut être intéressant de développer des petits logiciels permettant d'effectuer des tâches récurrentes du dimensionnement des structures dans le but de libérer les outils numériques pour des situations plus complexes.

C'est pourquoi, le projet qui m'a était confié doit se solder par la conception d'un programme simple d'utilisation, contenant un algorithme de calculs basique. L'outil le plus adapté à mon besoin reste le logiciel Excel du pack Office. Ce dernier permet d'effectuer de multiples opérations mathématiques, ainsi que de créer différentes fonctions (Logique, Mathématiques, Base de Données, etc...).

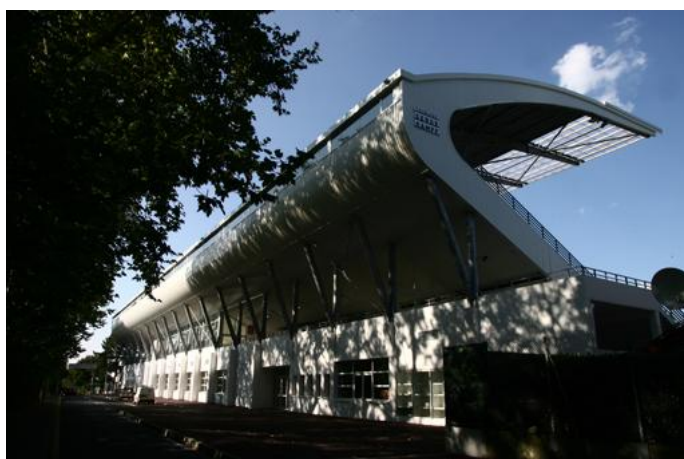
III. QUELQUES REALISATIONS



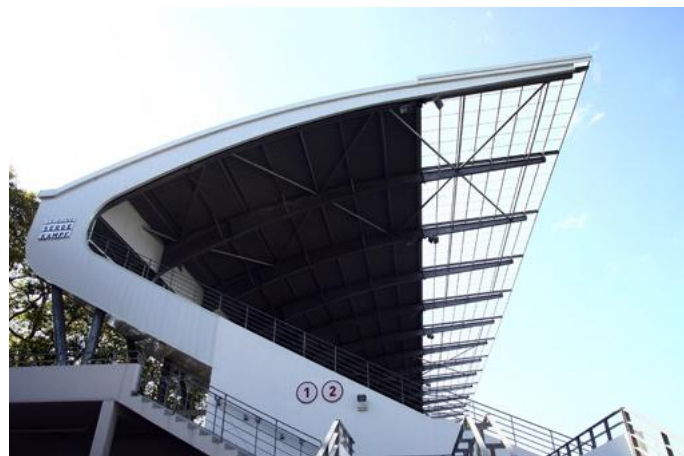
Usine SOFICAR.



Usine SOFICAR.



Tribune du Biarritz Olympique (vue de derrière).



Tribune du Biarritz Olympique (vue de profil).



Tribune du Biarritz Olympique (vue de face).

IV. ETUDE DE PROJET

IV.1 Sujet de l'étude

Le bureau d'études ECTA a pris la décision d'élargir son domaine d'intervention, capable de faire le dimensionnement complet d'une charpente métallique, aujourd'hui elle est aussi apte à faire l'étude d'une charpente bois. Dans les deux types de construction, les calculateurs retrouvent régulièrement les mêmes pièces à calculer. Les responsables d'ECTA m'ont donc donné la mission de faciliter le calcul de certaines pièces en concevant des logiciels de calculs simples d'utilisation.

IV.2 Etude du besoin

Le projet a pour but de réaliser des logiciels de calculs basés sur la théorie des poutres étudiée en mécanique des milieux continus. La fonction principale des programmes doit être de réaliser les calculs nécessaires au dimensionnement des pièces suivantes.

Dans la charpente bois, les éléments qui reviennent perpétuellement sont : Les solives et les pannes. La fonction principale des solives est de soutenir le plancher, tandis que les pannes permettent de soutenir la toiture. Un premier objectif sera donc de créer un logiciel de calculs propre à ces deux éléments en respectant les règles de calculs bois.

L'autre partie du projet sera l'automatisation des calculs relatifs au dimensionnement des plaques métalliques rectangulaires et cylindriques.

Pour faciliter leur utilisation, les logiciels auront une conception, un fonctionnement et une présentation commune. Ils doivent être composés d'une interface qui permettra la saisie des données nécessaires au dimensionnement de l'élément de construction : le matériau, la géométrie de la poutre, les charges appliquées, les conditions d'utilisation, etc...

Dans un premier temps, la feuille de calculs de l'élément doit récupérer les données entrées par l'opérateur et effectuer l'ensemble des calculs RDM nécessaire à son dimensionnement. Pour conclure, les résultats sont renvoyés sur une feuille dite de présentation qui comprend un bilan de la situation et une comparaison des résultats réels aux limites du matériau sélectionné.

IV.3 Analyse du problème

Le projet qui m'a été proposé étant la création d'un produit, j'ai donc eu une liberté totale sur la conception des logiciels (présentation, méthodes de calculs,...). Le principe de chaque programme étant le même (calculs RDM), j'ai opté pour une présentation et un fonctionnement très similaire pour chacun d'entre eux. Le procédé se décompose en deux grandes parties :

La première partie consiste à définir théoriquement les trames de calculs de résistance des matériaux qui sont propres à chacune des pièces.

La seconde partie du problème correspond à l'automatisation des calculs, c'est à dire la conception de trois logiciels de calculs (solive & panne bois, plaques métalliques circulaires, plaques métalliques rectangulaires).

IV.3.1 Description fonctionnelle

- Fonction service :

FS 1 : Le logiciel permettra de dimensionner des éléments de construction.

- Fonctions contraintes :

FC 1 : Le logiciel effectuera les calculs selon le type de pièce.

FC 2 : L'ensemble des calculs de résistance des matériaux respectera les règles de calculs.

FC 3 : La prise en main des programmes doit être accessible à tous les calculateurs.

FC 4 : Pour les calculs des éléments bois, on prendra en compte dans les calculs l'essence du bois avec les propriétés mécaniques qui lui sont propres.

FC 5 : La géométrie de la poutre, son orientation et son humidité seront des variables de calculs.

FC 6 : Dans le dimensionnement des pannes, les calculs des contraintes et des déformations doivent être relatifs au nombre de liens et d'appuis.

IV.3.2 Calculs R.D.M

Dans le calcul de résistance des matériaux en phase élastique, plusieurs critères sont pris en compte: la géométrie de la poutre (limite : section rectangulaire), le mode de sollicitation, la charge, etc... Dans le premier logiciel, le calcul des éléments de construction bois doit impérativement tenir compte des règles de calculs bois 71 qui reprennent la RDM classique adaptée au bois. Les deux derniers logiciels de calculs de plaque métallique reprendront les formules et tables de coefficients qui ont été établies pour chaque type de sollicitation.

IV.3.2.1 Caractéristiques intrinsèques du bois

IV.3.2.1.1 Influence de l'humidité

Le bois possède des caractéristiques propres qui sont fonction de son humidité: le taux d'humidité et sa variation. Le taux d'humidité (H) à prendre en considération est le taux d'équilibre hygroscopique des bois dans l'ambiance où se trouve la charpente après sa mise en œuvre et non pas le taux au moment de la fabrication. Tandis que, la variation d'humidité (ΔH) correspond à la différence entre le maximum et le minimum des humidités atteintes après la mise en œuvre et jusqu'à la stabilisation complète des déformations du bois. Il est important de savoir que lorsque l'humidité des bois n'est pas égale à 15%, les contraintes admissibles du matériau sont affectées de coefficients.

IV.3.2.1.2 Phénomène de fluage

Dans le cas où le taux d'humidité du bois serait différent de 15%, il est nécessaire d'appliquer un coefficient de fluage (θ) au calcul de la déformée (flèche) de longue durée. Le phénomène de fluage correspond à une lente déformation irréversible d'un corps sous l'effet d'une force extérieure ou de son propre poids. Ce coefficient de fluage est fixé en fonction de la contrainte réelle sous les charges et surcharges de longues durées ($\sigma_{r\infty}$) et de la variation du taux d'humidité (ΔH).

$$\theta = 1 + \left[\frac{\frac{H + \Delta H}{12} \times \frac{\sigma_{r\infty} - 0.2 \bar{\sigma}_f}{1 - \frac{\Delta H - 5}{15 + \Delta H}}}{\bar{\sigma}_f} \right]$$

IV.3.2.2 Solive

IV.3.2.2.1 Définition

Une solive est une longue pièce de bois équarri ou un profilé métallique dont les extrémités prennent appui sur les murs porteurs ou sur une poutre pour composer l'ossature rigide d'un plancher.

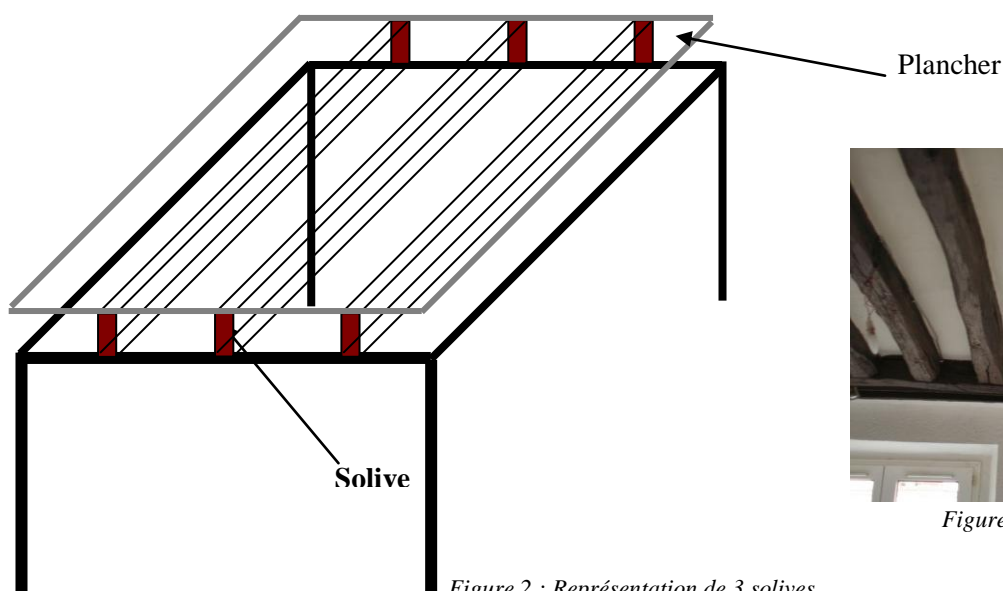


Figure 3 : solives bois d'une maison.

IV.3.2.2 Sollicitations totales pondérées

Une solive est une poutre exposée à différentes charges. Ces charges sont soit des *Charges Permanentes*, c'est à dire qui durent dans le temps, soit occasionnelles qu'on appelle *Surcharges d'exploitation*, notées respectivement **C.P** et **S**. Cette distinction est nécessaire pour le calcul des flèches et des déformations en raison du comportement particulier des éléments bois suivant la durée d'application des charges, compte tenu du phénomène de fluage des éléments sollicités en flexion. Les normes de calculs donnent des équations qui permettent de faire l'étude pour les cas les plus défavorables. Une solive n'étant pas exposée aux sollicitations climatiques (neige, vent), on ne tiendra donc pas comptes de ces dernières.

Les règles de calculs bois donnent deux types de combinaisons:

- Sollicitation totale pondérée du *premier genre* : $S1 = CP + 1,2 S$
- Sollicitation pondérée du *second genre* : $S2 = 1,1 CP + 1,5 S$

Lorsqu'on fait l'étude d'une poutre bois, il est nécessaire de prévoir ses déformations à court terme et à long terme. On considère comme charges et surcharges de longue durée celles dont la durée d'application excède soit plus de trois mois consécutifs, soit plus de 50% du temps en moyenne. Les charges permanentes sont toujours à considérer comme des charges de longue durée. Les sollicitations instantanées sont dues aux surcharges de courte durée.

- Sollicitation de longue durée : $S_{\infty} = CP + (\%)S$
- Sollicitation instantanée : $S_i = (\%)S$

Le pourcentage de surcharges d'exploitation de longue durée et instantanée est une donnée entrée par le calculateur. Déterminée de façon empirique, elle a respectivement pour valeur 20% et 80%.

IV.3.2.3 Charges

Une solive se calcule comme une poutre en flexion simple sur deux appuis ponctuels. Elle va être déformée par une charge, cet effort est source de contraintes au cœur du matériau mais aussi de déformations mécaniques. Dans notre cas il est essentiel de prendre en compte deux types de charges possibles, les *charges ponctuelles* (force appliquée en un point de la poutre), et des *charges surfaciques* (force appliquée sur une surface de la poutre). L'addition des deux types de charges donne une *charge combinée*. Chacune d'entre elles sont définies par le cahier des charges du client en fonction de multiples critères : le type de revêtement sol, les charges appliquées sur le plancher, etc...

Remarque : Dans le cas d'une charge surfacique, il faut multiplier les combinaisons vues ci-dessus par la bande de charge.

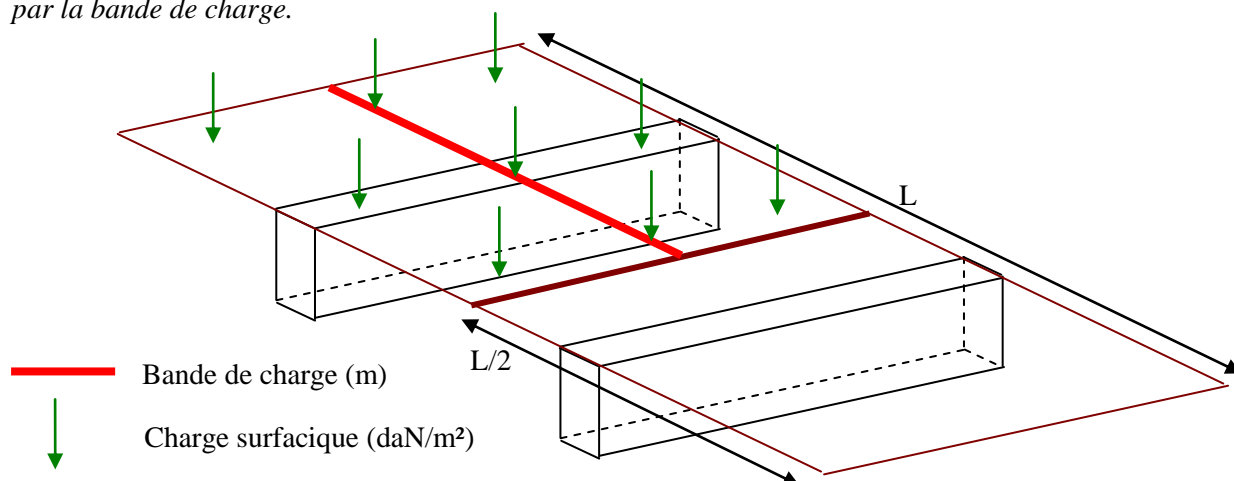


Figure 4 : Schémas bande de charge

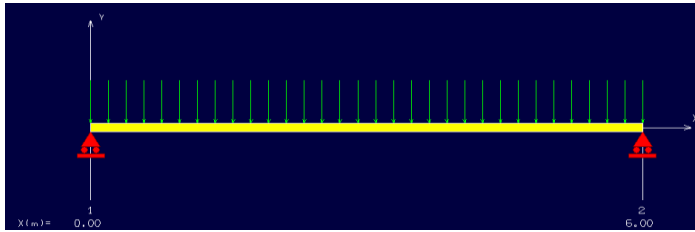


Figure 4: Charge surfacique (2D). (RDM6)

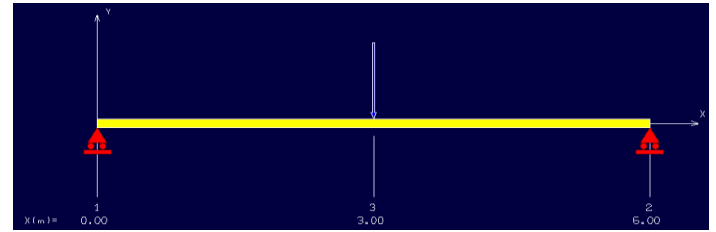


Figure 5 : Charge poctuelle (2D). (RDM6)

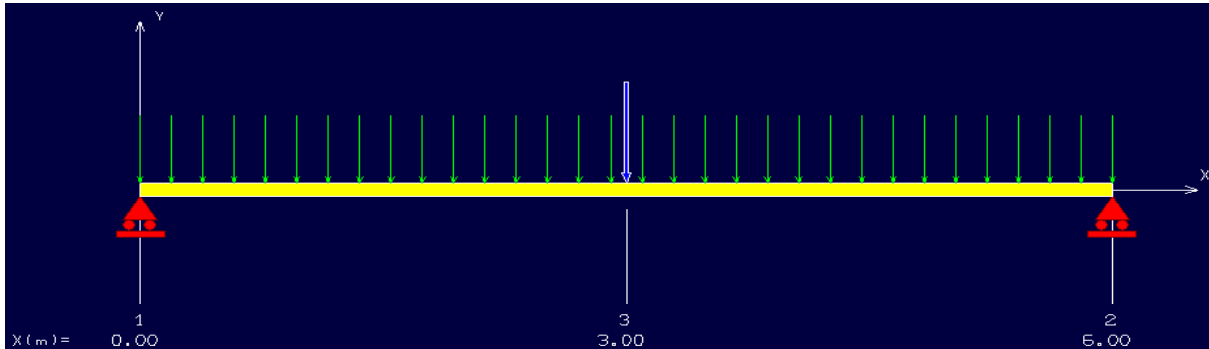


Figure 6 : Charge combinée (2D). (RDM6)

IV.3.2.2.4 Contraintes

En chaque point M d'un solide, il existe des forces intérieures que l'on met en évidence en effectuant une coupure du solide, par une surface S, en deux parties A et B. Considérons un point M de S. Soit dS un élément infinitésimal de la surface S, entourant M et \vec{n} le vecteur unitaire, perpendiculaire en M à S et dirigé vers l'extérieur de la partie A.

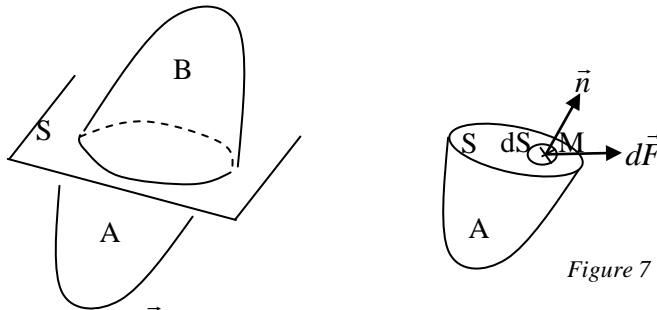


Figure 7 : Définition d'une contrainte mécanique.

Soit $d\vec{F}$ la force qui s'exerce sur cette facette. On appelle contrainte en M et dans la direction \vec{n} , la quantité : $\sum(\vec{M}, \vec{n}) = \lim_{dS \rightarrow 0} \frac{d\vec{F}}{dS}$

Le type de contrainte est fonction du type de sollicitation (flexion, traction, compression, cisaillement,...). Dans le cas d'une solive la poutre travaille en flexion simple, une sollicitation composée d'une traction et d'une compression.

▪ Moment de flexion :

On a pu voir précédemment qu'il existe deux types de sollicitation (1^{er} genre et 2nd genre). Les deux sollicitations engendrent deux moments fléchissants qui dépendent, de la longueur de la poutre, du type de charge, et de l'intensité de la sollicitation. On aura donc un moment de flexion pour chaque genre de sollicitation et type de charge.

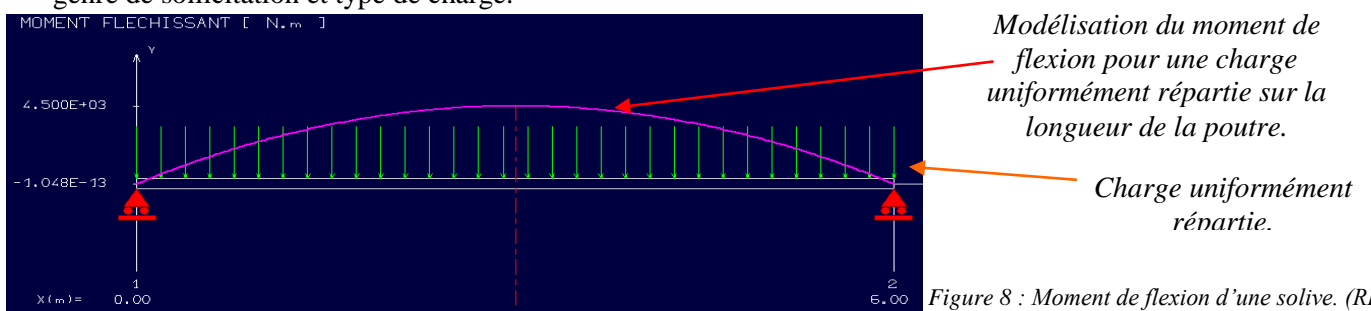


Figure 8 : Moment de flexion d'une solive. (RDM6)

A partir des deux moments de flexion et du moment quadratique, on peut calculer les deux contraintes de flexions réelles (1^{er} genre et 2nd genre). Pour juger la capacité de la solive à résister à la charge, on doit comparer la contrainte de flexion du 1^{er} genre à la contrainte de flexion admissible et la contrainte de flexion du 2nd genre à la valeur conventionnelle de la limite d'élasticité à la flexion simple instantanée. La contrainte de flexion admissible correspond à la contrainte limite, elle est déterminée par expérience et est propre à chaque essence. La limite d'élasticité à la flexion simple instantanée est fixée forfaitairement à 175% de la contrainte admissible. De plus, on minore ou majore les contraintes admissibles de coefficient en fonction du taux d'humidité.

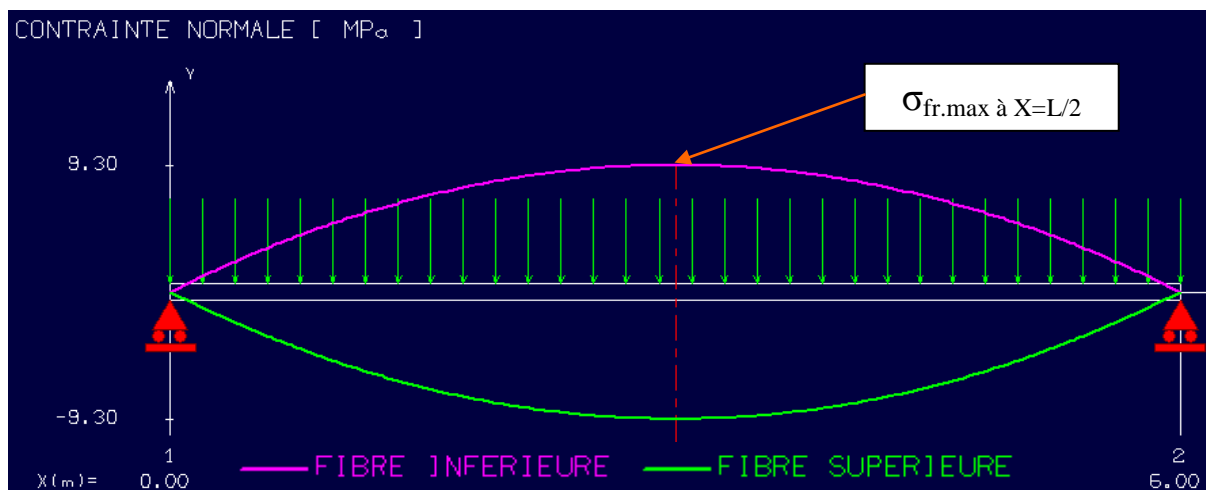


Figure 9 : Contrainte de flexion normale supérieure et inférieure pour une charge surfacique. (RDM6)

Trame de calculs pour définir la contrainte de flexion réelle d'une solive :

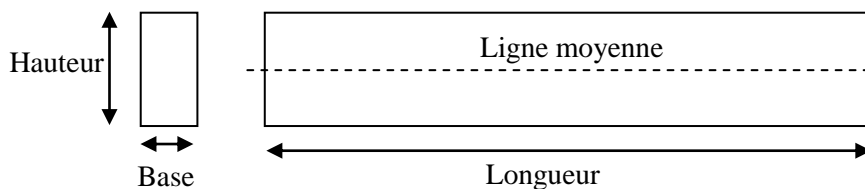
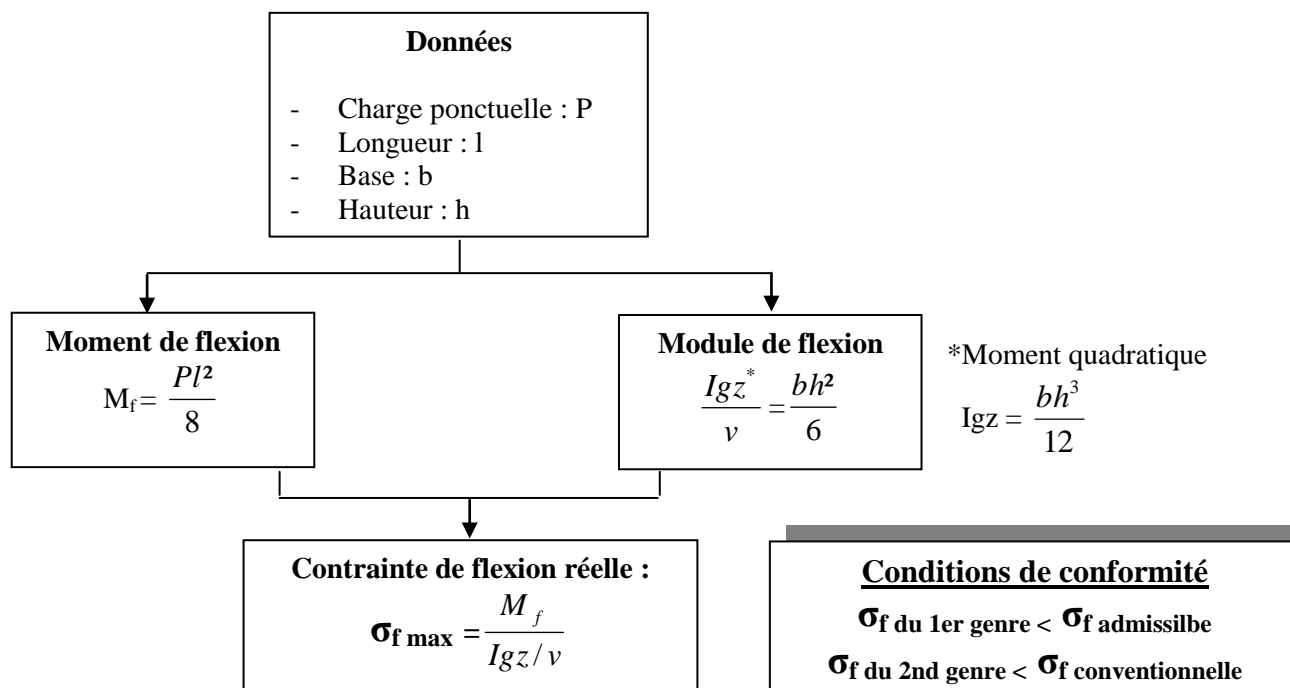


Figure 7 : Propriétés géométriques de la poutre.



Remarque : La trame de calculs ci-dessus s'applique à une charge ponctuelle, elle doit être faite pour chaque type de sollicitation : 1^{er} et 2nd genre pour juger la conformité de la pièce, longue durée pour déterminer le coefficient de fluage. La même trame de calculs affectés de la bande de charge sert à déterminer la contrainte de flexion pour une charge surfacique.

▪ **Effort tranchant :**

L'effort tranchant (T) est la cause des contraintes de compression et de cisaillement. Cette force vient s'opposer à la réaction de l'appui, le tout provoquant des glissements ou des écrasements de matière, qui nuisent à la stabilité de la poutre. On peut voir si dessous que pour une poutre sur deux appuis simples, l'effort tranchant est maximal au niveau des appuis et nul au centre de la poutre. Dans nos deux cas l'effort tranchant maximal est à $x = 0$ ou L , on peut donc donner les formules facilement et les ajouter étant donné qu'on travaille dans la zone élastique du matériau.

Charge surfacique

$$T_{\max} = \frac{Pl}{S}$$

Charge Ponctuelle

$$T_{\max} = \frac{P}{S}$$

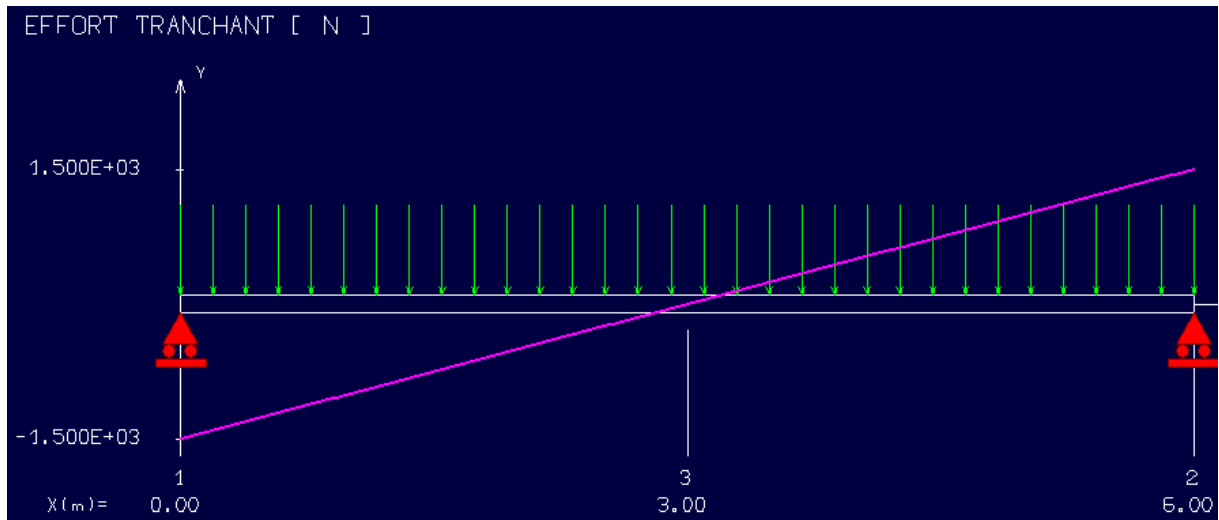


Figure 10 : Effort tranchant pour une charge uniformément répartie. (RDM6)

▪ **Compression transversale :**

Les appuis situés à chaque extrémité de la poutre créés une contrainte de compression transversale et de cisaillement. La contrainte de compression perpendiculaire représente l'écrasement de la surface parallèle à la charge qui est commune à la poutre et à l'appui sous l'effet des forces extérieures. En effet, la pièce est contrainte à l'effort engendré par la réaction de l'appui sur la poutre et à la charge extérieure. Dans ce précis, la limite d'élasticité à la compression transversale est fixée forfaitairement à 150% de la contrainte admissible.

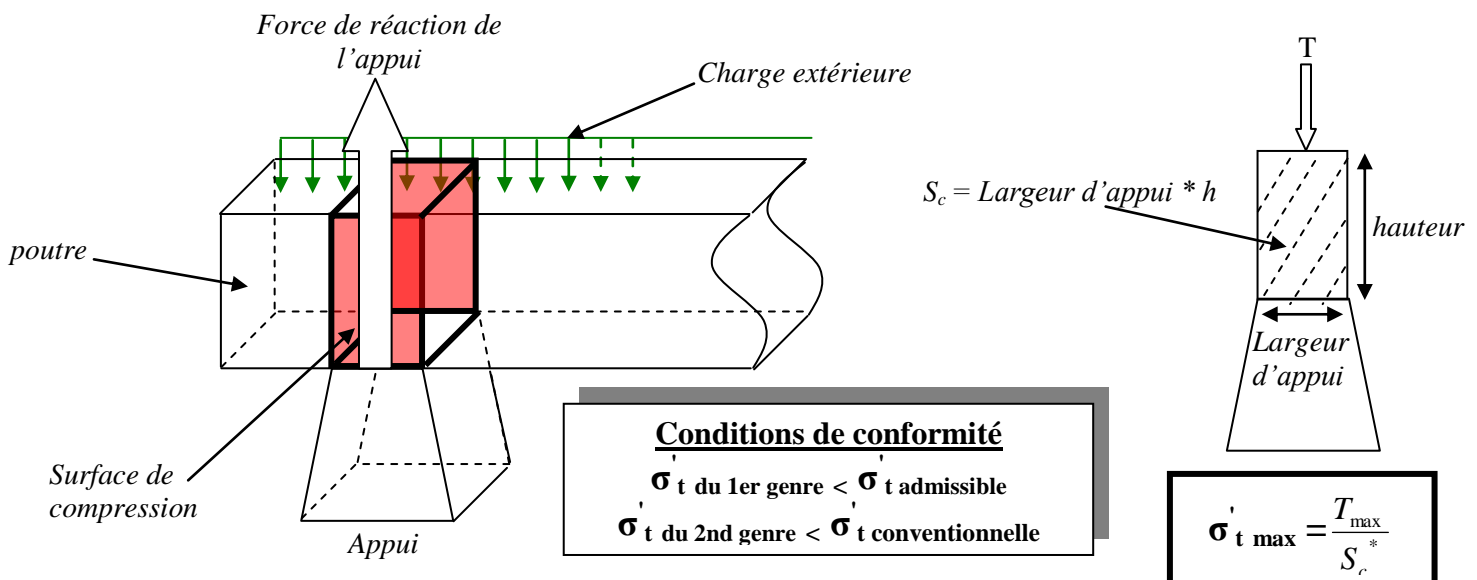


Figure 11 : Contrainte de compression transversale engendrée par une charge surfacique.

▪ **Cisaillement :**

Comme il est mentionné précédemment, la réaction des appuis en opposition à l'effort tranchant génère une contrainte de cisaillement. La pièce est sollicitée par deux forces égales, de même droite d'action mais de sens contraire qui tendent à faire glisser l'une sur l'autre les deux parties.

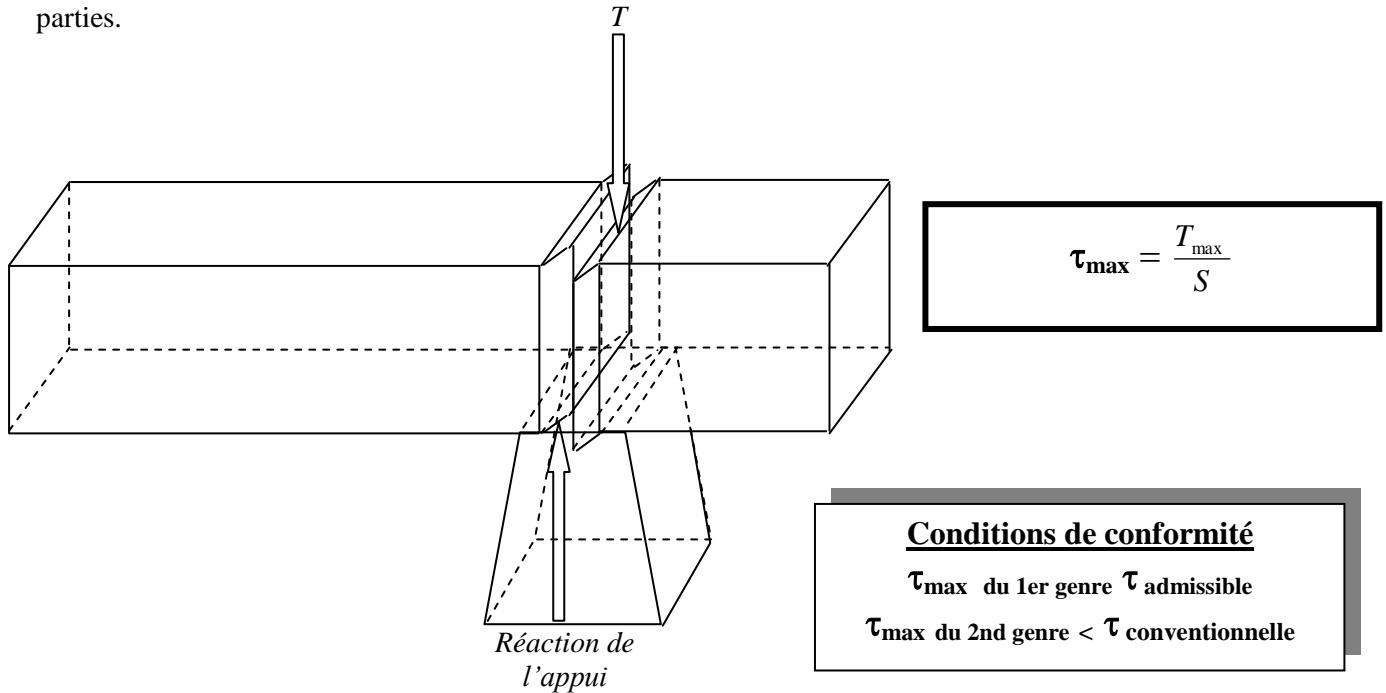


Figure 12 : Contrainte de cisaillement sur appui.

▪ **Contraintes réelles maximales :**

Pour juger le cas le plus défavorable, on calcule les ratios des contraintes réelles du 1^{er} genre et du 2nd genre avec respectivement les contraintes admissibles et les limites d'élasticités conventionnelles. La contrainte la plus défavorable telle qu'elle soit, correspond au ratio le plus proche de la valeur 1, en restant inférieur à cette dernière.

On remarque que dans le dimensionnement des solives les contraintes maximales sont toutes du 1^{er} genre, c'est donc la combinaison CP+1.2S qui est prépondérante.

Or, dans le cas des pannes, le nombre de combinaisons est bien plus exhaustif, il sera donc intéressant de connaître la combinaison prépondérante dans le calcul des contraintes. Elle permettra de voir qui du vent ou de la neige domine les charges climatiques, si les surcharges d'exploitations sont plus défavorables que l'ensemble des charges dues aux intempéries.

Pour que la pièce soit acceptable du point de vue des contraintes, chaque contrainte réelle du premier genre doit rester inférieure à la contrainte admissible affectée du coefficient qui est fonction du pourcentage d'humidité dans le bois. Si c'est une contrainte du 2nd genre qui dimensionne la pièce, alors elle ne devra pas dépasser la limite d'élasticité conventionnelle (contrainte de flexion majorée d'un pourcentage qui est fonction du type de sollicitation).

IV.3.2.2.5 Déformées

L'application d'une charge quelconque sur une poutre est aussi facteur de déformations. Une déformée, aussi appelée flèche correspond à une courbure de la ligne moyenne de la poutre. On aura donc une déformée pour chaque type de charge : ponctuelle, surfacique et combinée. Néanmoins, on doit prendre en compte toutes les déformations :

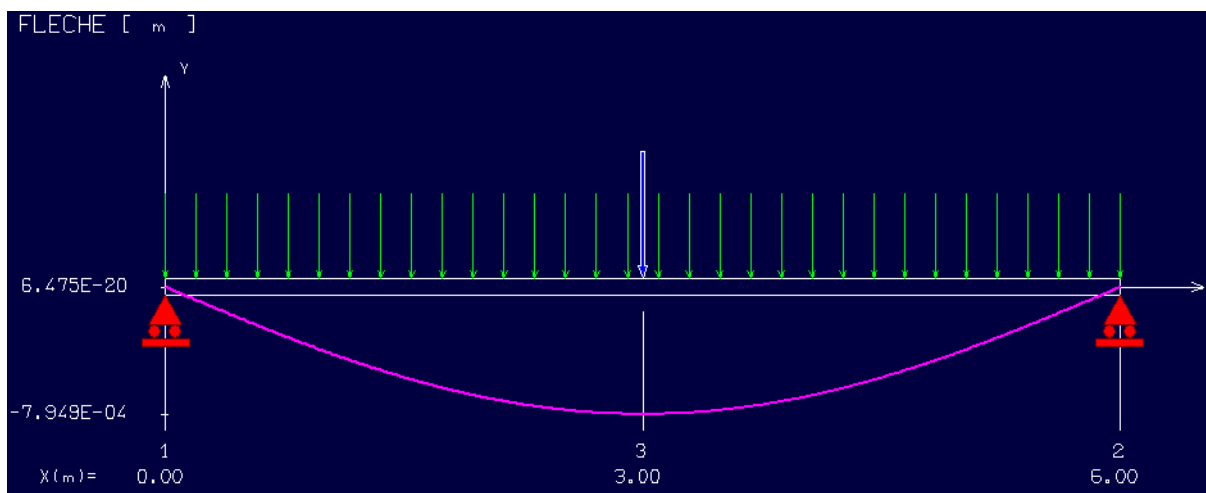


Figure 13 : Allure d'une déformée (flèche). (RDM6)

▪ Flèche instantanée (f_i) :

Elle correspond à la flèche due à la sollicitation des surcharges de courte durée, il existe une flèche instantanée pour les charges réparties et pour les charges ponctuelles, qu'on ajoute dans notre cas pour avoir une charge combinée.

$$f_i = \frac{S_i * l^3}{48EI}$$

flèche instantanée pour une charge ponctuelle(S_i).

$$f_i = \frac{5}{384} \frac{S_i * l^4}{EI}$$

flèche instantanée pour une charge surfacique(S_i).

▪ Flèche de longue durée (f_∞) :

Pour déterminer la flèche de longue durée il faut connaître la sollicitation de longue durée affectée du coefficient de fluage (Θ).

$$f_\infty = \frac{S_\infty * l^3}{48EI} \cdot \theta$$

Flèche de longue durée pour une charge ponctuelle (S_∞).

$$f_\infty = \frac{5}{384} \frac{S_\infty * l^4}{EI} \cdot \theta$$

Flèche de longue durée pour une charge surfacique (S_∞).

▪ Flèche admissible :

Elle constitue la limite que ne doit pas dépasser la flèche totale pour ne pas entrer dans la zone de déformation plastique, qui correspond à une déformation importante à tel point qu'elle ne parvient pas à revenir à sa forme initiale. Les solives font parties des ouvrages fléchis, autres que les consoles supportant une circulation, elle a donc comme flèche admissible égale à $1/400^{\text{ème}}$ de la portée (longueur), soit un déplacement admissible de $L/400$.

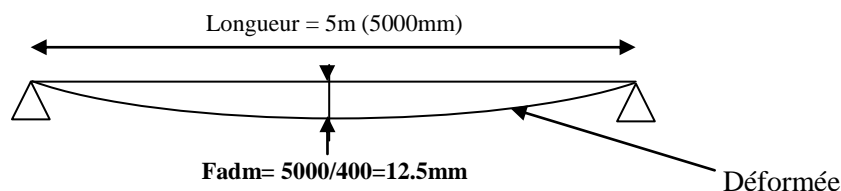


Figure 14 : flèche admissible.

▪ **Flèche totale :**

La flèche totale est la somme de la flèche instantanée et de la flèche longue durée, l'addition de la flèche totale sollicitée par la charge ponctuelle et par la charge uniformément répartie représente la déformée maximale. Cette dernière ne doit pas dépasser la flèche admissible vue précédemment.

$$f_t = f_i + f_{\infty} < f_{adm}$$

IV.3.2.3 Panne

IV.3.2.3.1 Définition

Une panne est une pièce horizontale d'une charpente de comble, en bois ou en métal ; la panne repose sur les arbalétriers et sert de support aux chevrons, ou aux panneaux rigides de couverture.

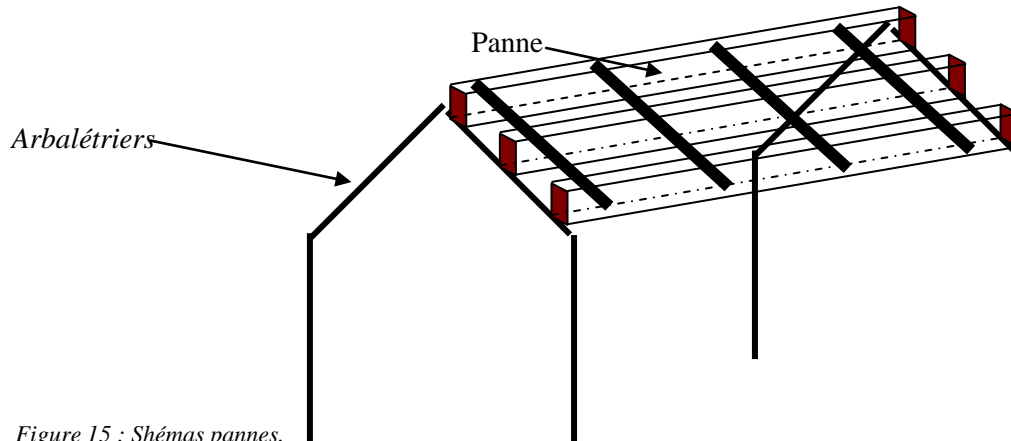


Figure 15 : Schémas pannes.

IV.3.2.3.2 Sollicitations totales pondérées :

Dans notre cas, les pannes sont aussi des éléments de construction en bois qui se dimensionnent comme les solives. Cependant, il est nécessaire de prendre en compte l'inclinaison des pannes suivant la toiture, mais aussi les combinaisons des sollicitations engendrées par les surcharges climatiques (vent et neige).

▪ Sollicitations totales pondérées intervenant dans les calculs (règles C.B.71) :

- *Sollicitations totales pondérées du 1^{er} genre :*

- CP+1.2S
- CP+S+Pn
- CP+S+Pv(+)+0,5Pn « Pv(+) = vent ascendant, créé une aspiration de la toiture »
- CP+S+Pv(-)+0,5Pn « Pv(-) = vent descendant, créé un appui sur la toiture »

- *Sollicitations totales pondérées du 2nd genre :*

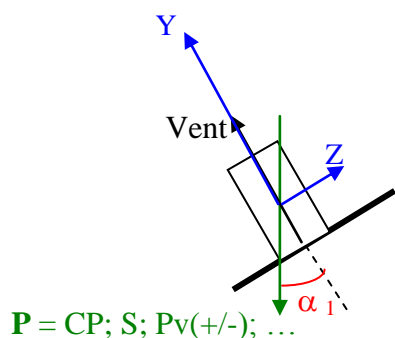
- 1,1CP+1,5S+1,1Pve(+)+0,5Pne Pve(+) = Pv(+).γ_{ve} ; Pn_e = Pn.γ_{ne}
- 1,1CP+1,5S+1,1Pve(-)+0,5Pne Pve(-) = Pv(-).γ_{ve}
- CP+S+Pn.acc

Ces cinq combinaisons suffisent à réaliser l'ensemble des combinaisons possibles. L'opérateur rentre les charges (Pve, Pn_e, CP, S, etc...), ainsi que les coefficients de vent et neige extrême et si nécessaire la neige accidentelle, dans le but de récupérer la sollicitation la plus défavorable. Les coefficients des surcharges climatiques sont fonctions de la localisation géographique du bâtiment, ils sont donnés par les règles NV65. Dès que les sollicitations dues à la neige et au vent sont combinées, alors la sollicitation due à la neige est affectée du coefficient 0.5, on parle de demi-neige. Dans le cas des combinaisons de longue durée et instantanée, l'opérateur doit renseigner leur pourcentage.

- Sollicitation de longue durée :
 - $S_{\infty} = CP + (\%)S$
- Sollicitation instantanée :
 - $S_i = (\%)S$

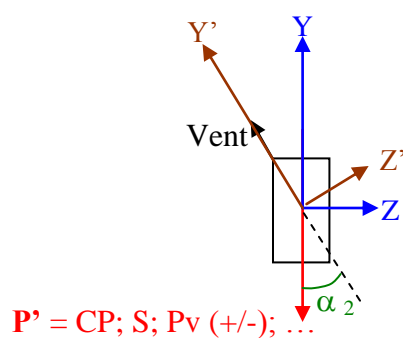
▪ Orientation des sollicitations :

Deux cas de mise en position sont envisageables, soit les pannes sont inclinées comme les arbalétriers d'un angle (α_1) et la sollicitation due au vent est coaxiale à l'axe de plus petite inertie (Y), soit les pannes sont disposées de telle manière que l'axe de plus grande inertie soit parallèle au sol avec une sollicitation due au vent incliné d'un angle (α_2). L'inclinaison de la panne, nécessite une projection des efforts sur le repère de la panne (Y;Z) :



Projection de P sur (x;y) :

$$\begin{aligned} P_y &= P \cos(\alpha_1) \\ P_z &= P \sin(\alpha_1) \end{aligned}$$



Projection de $P_{v(+/-)}$ sur (x;y) :

$$\begin{aligned} P_y &= P \cos(\alpha_2) \\ P_z &= P \sin(\alpha_2) \end{aligned}$$

IV.3.2.3.3 Charges

Une panne est sollicitée en flexion déviée, c'est à dire une flexion simple comme une solive mais inclinée d'un angle alpha, d'où le nom de flexion déviée. Les seules charges qui viennent contraindre et déformer le matériau sont de types surfaciques, il n'y a pas de charge ponctuelle et par conséquent pas de charge combinée.

IV.3.2.3.4 Contraintes

Comme dans le calcul de solive, on retrouve dans une panne les trois types de contraintes (flexion, compression transversale, cisaillement) occasionnées cette fois si seulement par la charge uniformément répartie. Etant donnée que les sollicitations sont inclinées, les contraintes qu'elles engendrent sont réparties sur les axes Y et Z. Dans le but de réduire respectivement les contraintes sur Z et Y, les charpentiers utilisent des liens entre chaque travée et augmentent le nombre d'appuis.

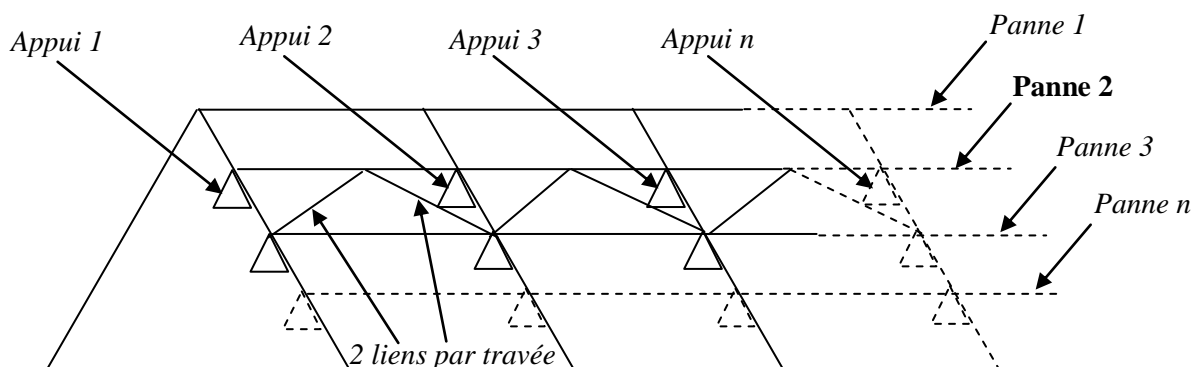


Figure 16 : schémas général charpente bois.

▪ Moments fléchissants :

Le calcul de panne nous emmène à déterminer le moment de flexion suivant Y influencé par le nombre d'appuis, et suivant Z qui est fonction du nombre de liens par travée (on les assimilera aussi à des appuis). Le moment fléchissant dépend du point où l'on se situe, étant donnée qu'on est dans la zone de déformation élastique, on a le droit d'ajouter le moment suivant Z et suivant Y si et seulement si on se situe au même point. La valeur de ce moment à chaque point critique, peut se déterminer à partir du moment initial affecté de coefficients (Cf : § Coefficient M_f & T aux points critiques). Dans l'objectif d'avoir le cas le plus défavorable, soit le moment fléchissant maximal, il faut calculer les moments à chaque extremum sur chacun des axes et regarder qu'elle est la somme des deux la plus défavorable.

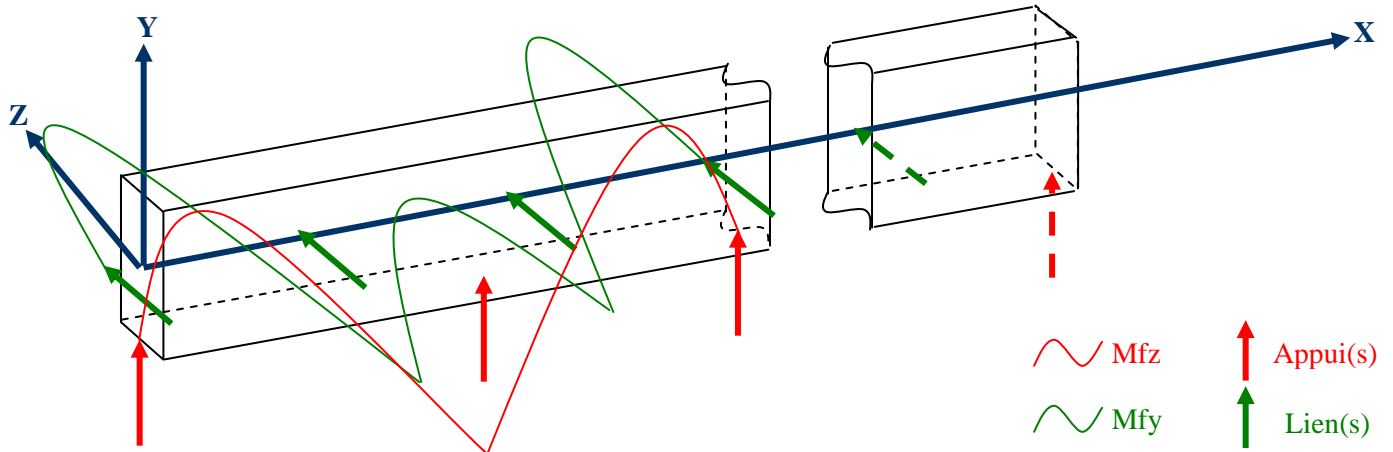


Figure 17 : Représentation graphique du moment de flexion : sur Y en fonction du nombre d'appuis et sur Z en fonction du nombre de liens par travée.

Si l'on ne sélectionne que la première partie de la poutre (ci-dessus), on est dans le cas d'une panne reposant sur trois appuis, avec deux liens par travée. Pour déterminer plus facilement les points critiques correspondants aux extremums des courbes, il est nécessaire de faire une représentation plane.

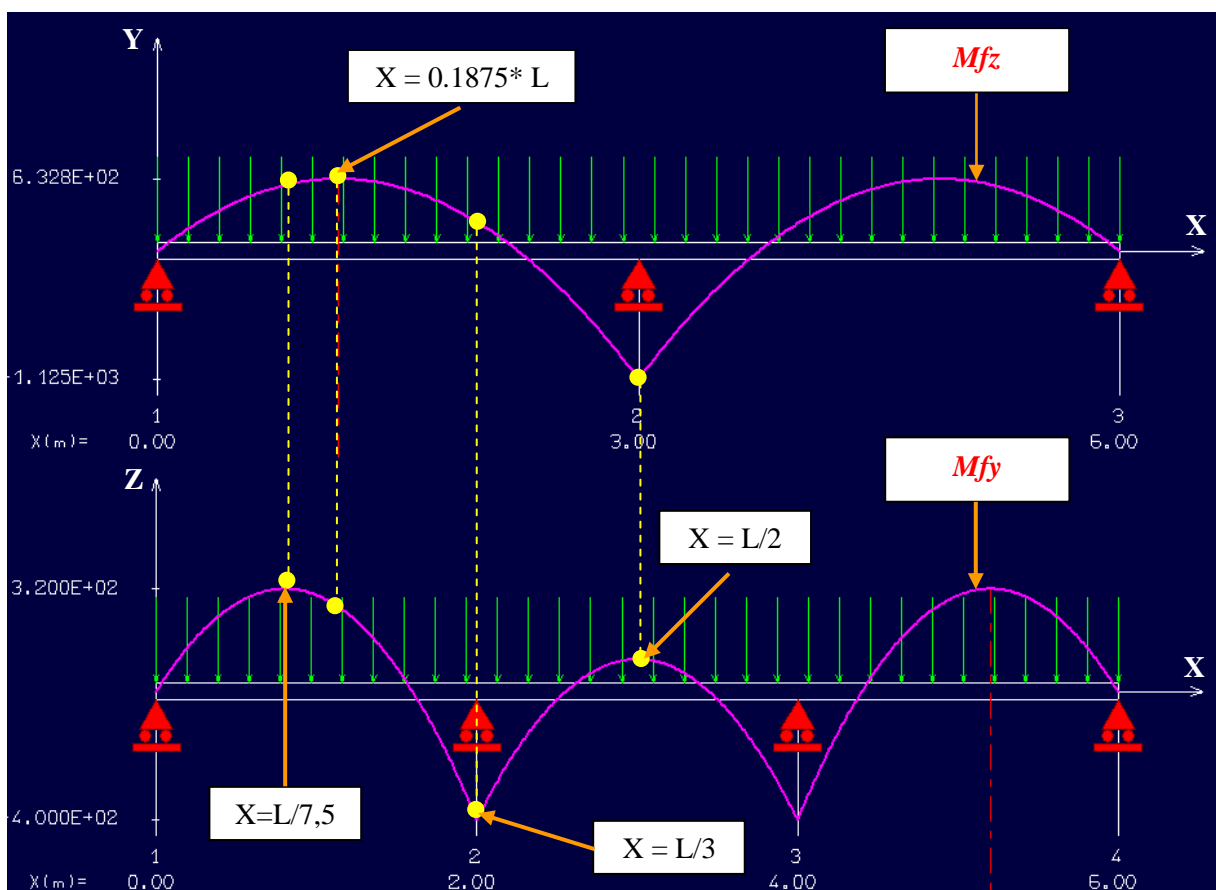


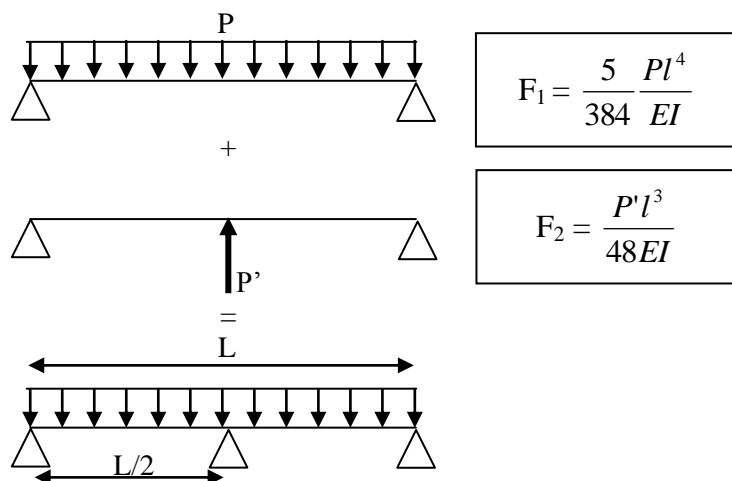
Figure 18 : Moments de flexion aux points critiques pour 3 appuis et 2 liens. (RDM6)

Dans chaque cas, il sera donc nécessaire de calculer les moments de flexion à chaque point critiques, dont le nombre et la position varient en fonction du nombre d'appuis et du nombre de liens. Il faut savoir que le point critique est aussi fonction de l'orientation des charges. Le logiciel devra donc être capable de calculer les moments fléchissants sur Y et sur Z en fonction de l'orientation de la panne, du nombre d'appuis et du nombre de liens par travée et de sélectionner le point le plus critique qui permettra d'aboutir à la contrainte réelle de flexion prépondérante. L'ensemble des contraintes se calcule comme précédemment, c'est à dire de la même manière que pour une solive soumise à une charge surfacique.

▪ **Recherche des points critiques :**

Pour déterminer un point critique, soit le point où le moment fléchissant est maximal dans une travée on applique le principe de superposition des poutres.

Exemple : Recherche du point critique dans la travée (entre $x=0$ et $x=L/2$), d'une poutre de longueur L sur 3 appuis.



Hypothèse : à $L/2$,

$$f_1 + f_2 = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{P'l^3}{48EI} + \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{EI} = 0$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{P' = 0.625Pl}$$

$$\begin{cases} Mf_1 = \frac{Px(x-l)}{2} \\ Mf_2 = \frac{P'x}{2} = \frac{0.625Plx}{2} \end{cases} \Rightarrow Mf_1 + Mf_2 = \frac{Px(x-l)}{2} + \frac{0.625Plx}{2} = \frac{P}{2} (lx - x^2 + 0.625lx)$$

- Recherche d'extremums : Comme en mathématiques, la recherche d'extremum correspond à la recherche des points qui vérifie que la dérivée de la fonction est nulle :

$$(Mf_1 + Mf_2)' = \frac{P}{2} (l - 2x + 0.625l)$$

$$(Mf_1 + Mf_2)' = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{P}{2} (l - 2x + 0.625l) = 0$$

$\Leftrightarrow \mathbf{x = 0.8125 * L}$ ou $\mathbf{x = (1 - 0.8125)L}$, car les points critique sont symétriques par rapport à $L/2$.

Pour une panne de quatre mètres sur trois appuis, le point où le moment est maximal entre appuis se situe à $(1 - 0.8125) * 400 = 75\text{cm}$.

▪ Efforts tranchants :

L'effort tranchant découle des sollicitations sur Y et sur Z, comme pour les moments fléchissants, il existe dans une panne deux efforts tranchants, le premier est fonction du nombre de points d'appuis, le second dépend du nombre de liens par travée.

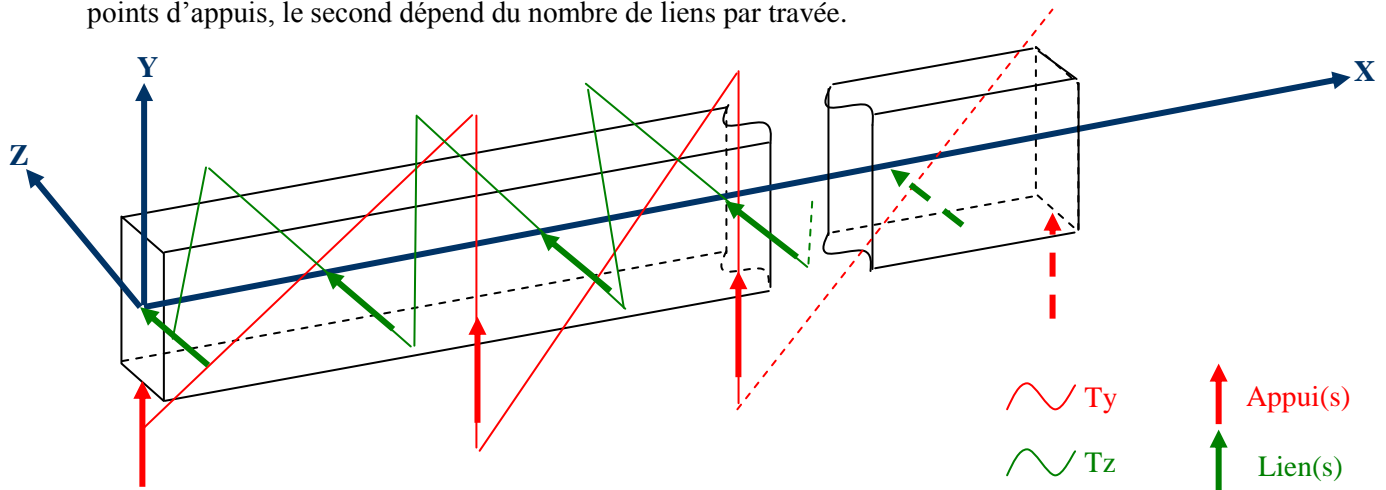


Figure 19 : Représentation graphique de l'effort tranchant : sur Y en fonction du nombre d'appuis et sur Z en fonction du nombre de liens par travée.

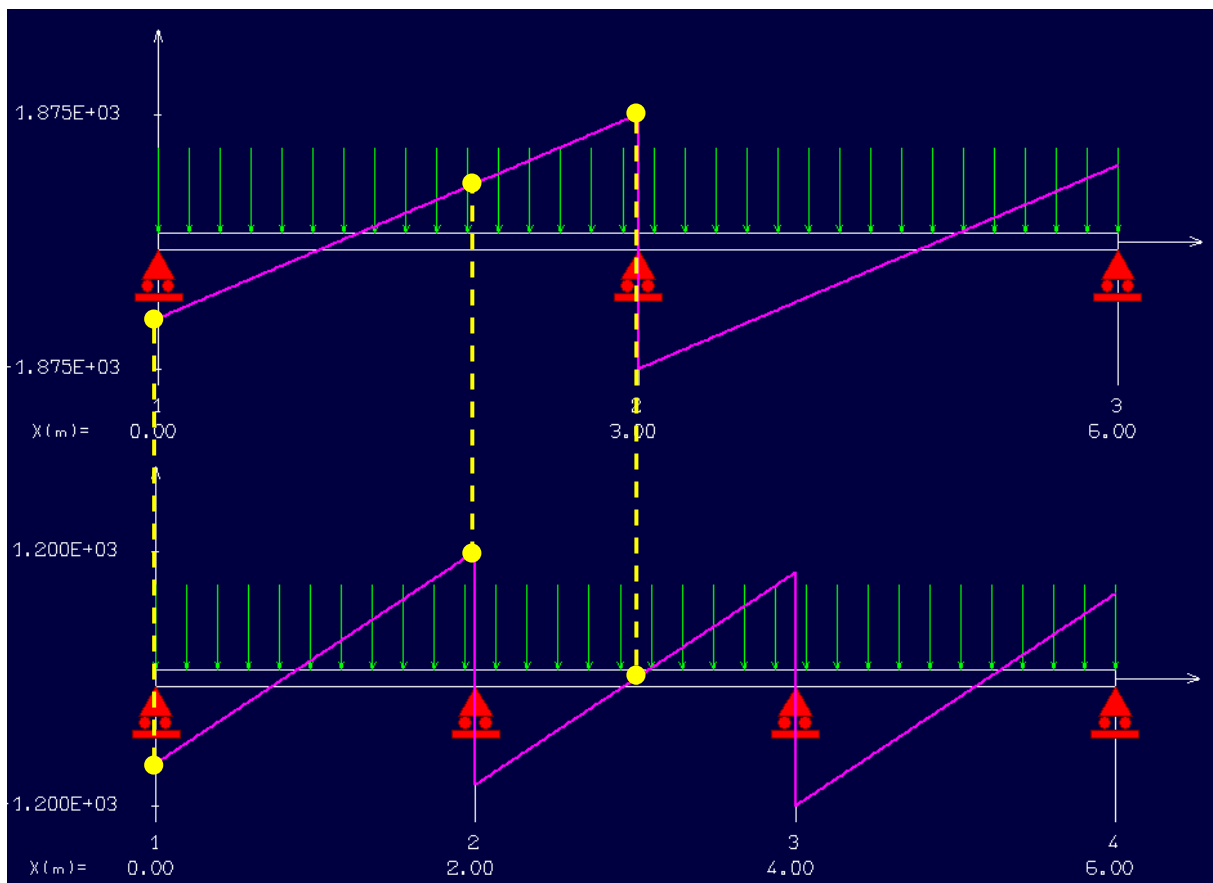
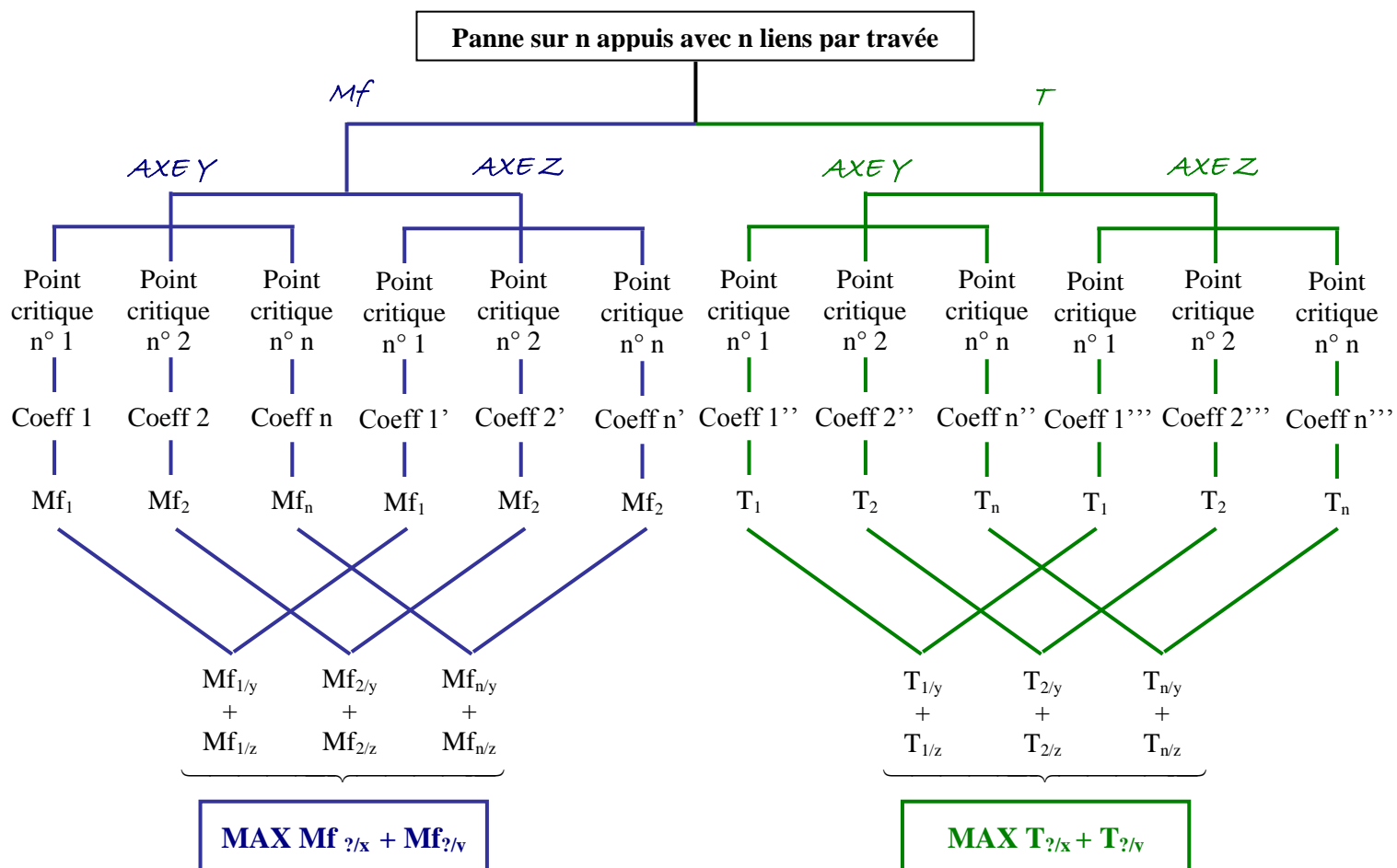


Figure 20 : Effort tranchants aux points critiques pour 3 appuis et 2 liens.(RDM6)

L'effort tranchant prépondérant est défini comme le moment de flexion maximal, le logiciel doit être capable d'analyser la somme des efforts tranchants à chaque point critique de telle sorte que les contraintes soient les plus défavorables possibles. Les contraintes de compression réelles transversales et de cisaillement sur appui sont calculées de la même façon qu'une solive. Pour déterminer les points critiques dans les travées, on applique aussi la méthode de superposition des poutres vue au-dessus pour le moment fléchissant en s'adaptant à l'effort tranchant.

IV.3.2.3.5 Coefficient M_f & T aux points critiques

Après avoir défini les points critiques pour chaque situation en fonction du nombre d'appuis et du nombre de liens par travée, l'objectif second est de calculer la valeur du moment de flexion et de l'effort tranchant à ces points. Une fois calculée, le logiciel doit être capable d'extraire le point le plus défavorable, c'est à dire le point où la somme du moment (respectivement de l'effort tranchant) sur Y et sur Z est la plus défavorable. Pour automatiser les calculs à ces points, j'ai opté pour une méthode de coefficient que l'on applique à l'effort initial. Les efforts initiaux correspondent à l'étude classique d'une poutre sur deux appuis sans renfort.



Exemple : L'exemple ci-dessous représente un cas particulier, une panne sur trois appuis avec deux liens par travée. On peut donc l'associer à un premier cas de poutre sur trois appuis, et à un second cas de poutre sur quatre appuis.

La base de la méthode consiste à définir les coefficients qui lient les efforts tranchants et les moments de flexion sur Y et sur Z pour chaque point critique à la poutre initiale. Grossièrement, on établit une règle de proportionnalité entre les efforts initiaux et ceux que l'on cherche. Cependant le problème réside dans le principe de généralisation de la méthode pour tous les cas de sollicitation envisageable. Effectivement, l'objectif étant de concevoir un logiciel sans limite, déterminer tous les coefficients pour M_{fy} , M_{fz} , T_y et T_z , pour 1,2,3 ou une infinité de liens par travée pour une poutre sur 1,2,3,...,n appuis à chaque point critique devient trop fastidieux, des limites se sont donc imposées.

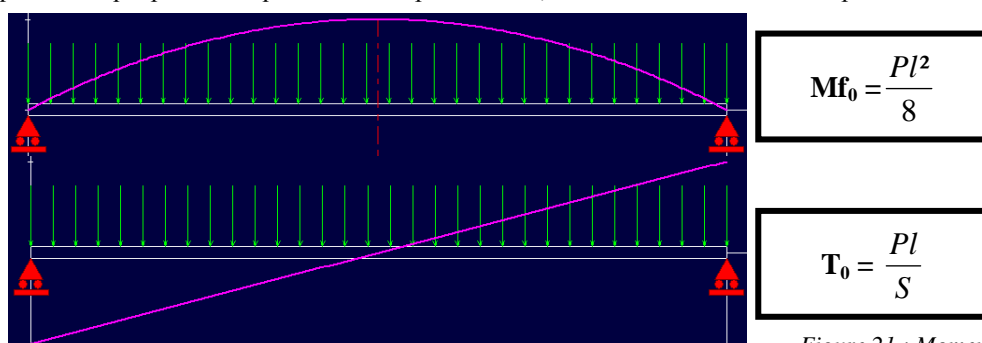


Figure 21 : Moments de flexion et effort tranchant initial. (RDM6)

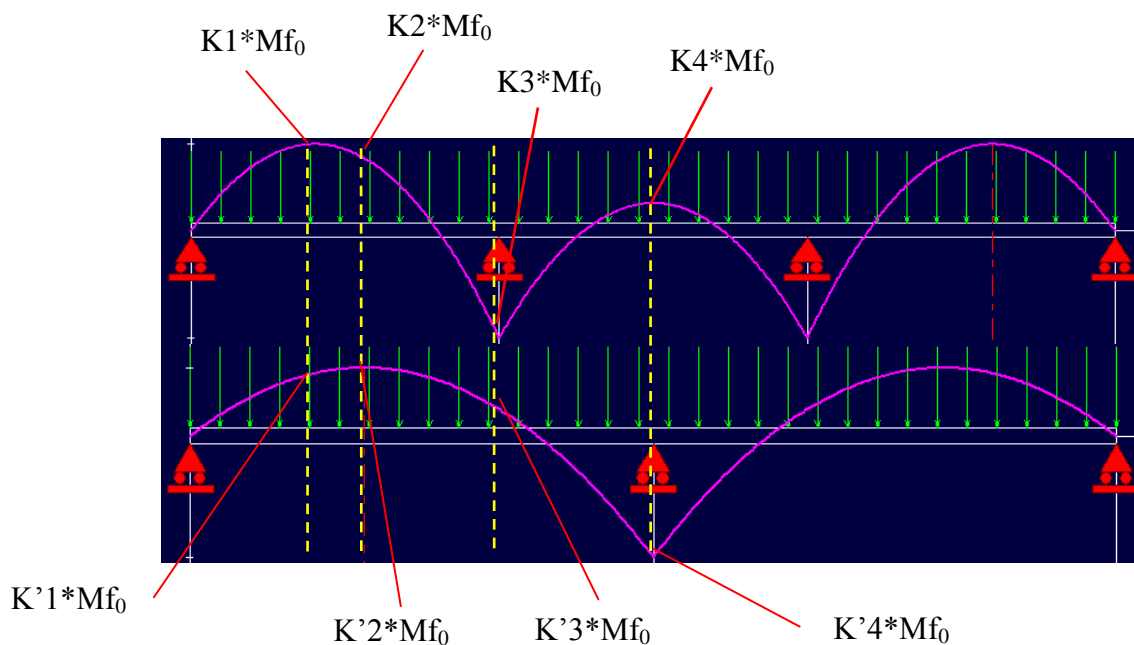


Figure 22 : Moments de flexion pour une poutre sur 3 appuis avec 2 liens par travée.(RDM 6)

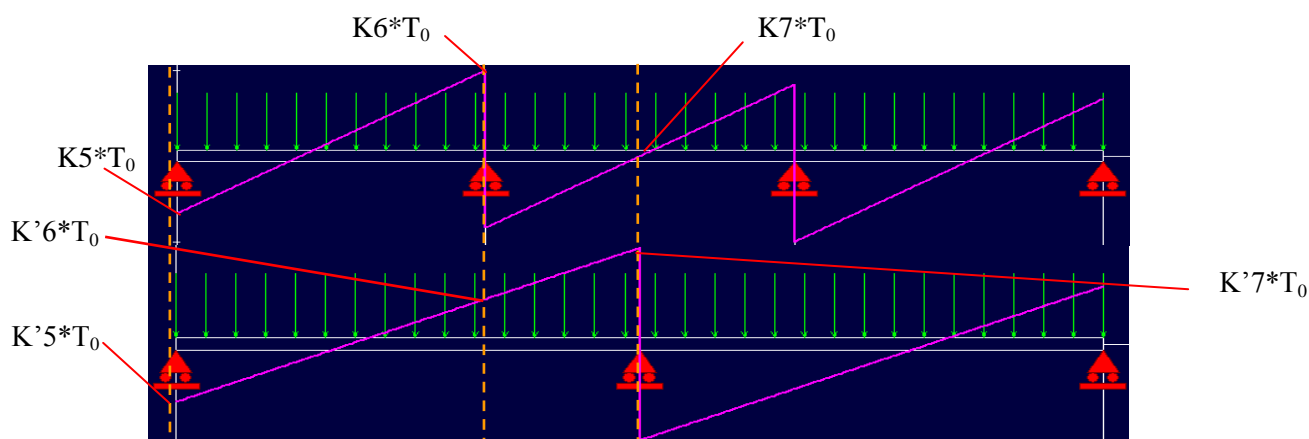


Figure 23 : Efforts tranchant pour une poutre sur 3 appuis avec 2 liens par travée. (RDM6)

		coeff Mfy							coeff Mfz							coeff Ty				coeff Tz			
points de calculs x*L		L/10,23	L/7,5	L/5,33	L/4	L/3	3L/8	L/2	L/10,23	L/7,5	L/5,33	L/4	L/3	3L/8	L/2	0,000	0,250	0,333	0,500	0,000	0,250	0,333	0,500
nb de lien	0			0,609				1,000			0,141				0,250	0,375			0,625	1,000			0,000
	1			0,141				0,250			0,141				0,250	0,375			0,625	0,375			0,625
	2		0,071	0,059		0,089		0,022		0,071	0,141		0,055		0,250	0,375		0,292	0,625	0,267		0,400	0,000
	3	0,039		0,067	0,054		0,018	0,036	0,108		0,141	0,125		0,000	0,250	0,375	0,125		0,625	0,197	0,304		0,232
	infinité							0,000							0,250	0,375			0,625	0,000			0,000

Figure 24 :Liste des coefficients pour une poutre sur trois appuis.

IV.3.2.3.6 Déformées

La poutre étant soumise à deux directions de charges, elle aura tendance à se déformer aussi dans les deux directions. La déformée selon l'axe de plus grande inertie (Z) étant négligeable devant celle d'axe (Y), on retiendra donc que la première dans tous nos calculs de flèches. Comme dans le cas d'une solive on aura une déformée instantanée, une de longue durée et la somme des deux donnera une flèche totale. Une panne, est une pièce supportant directement des éléments de couverture (chevrons, liteaux, pannes exceptées) et de bardages (poteaux et lisses), elle aura donc comme flèche admissible $1/200^{\text{ème}}$ de la portée.

IV.3.2.4 Plaques métalliques

IV.3.2.4.1 Définition

On appelle plaque un solide limité par deux plans parallèles et par une surface fermée qui définit les bords ; l'épaisseur constante h de la plaque est supposée faible par rapport aux autres dimensions.

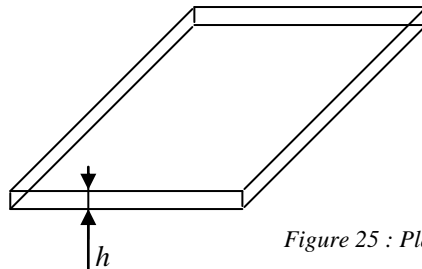


Figure 25 : Plaque métallique rectangulaire.

IV.3.2.4.2 Charges

Toutes les forces, charges et réactions, sont appliquées normalement à la plaque. Dans la conception de nos deux logiciels, on retrouvera des charges uniformément réparties sur toute la plaque, des charges triangulaires, des charges ponctuelles au centre de la plaque et des charges circulaires coaxiales à la plaque.

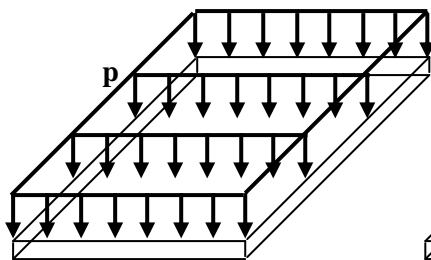


Figure 26 : Charge uniforme rectangulaire.

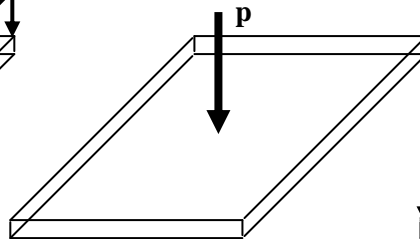


Figure 27 : Charge ponctuelle.

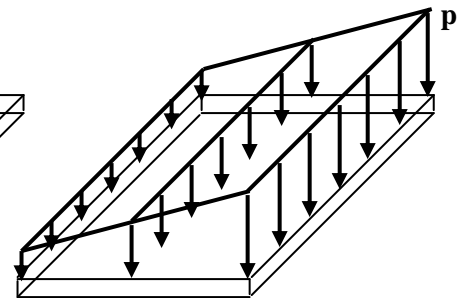


Figure 28 : Charge triangulaire.

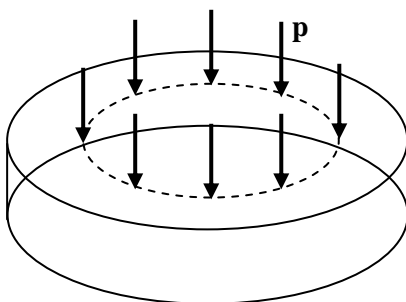


Figure 29 : Charge concentrique circulaire.

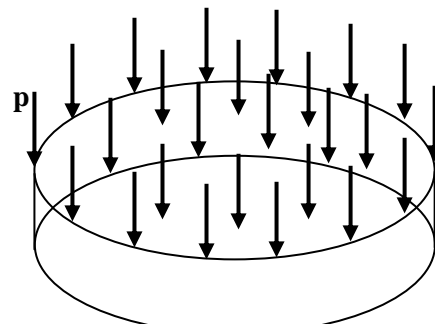


Figure 30 : Charge uniforme cylindrique.

IV.3.2.4.3 Contraintes

La plaque est repérée dans un système d'axe Oxyz, le plan Oxy étant confondu avec le plan moyen de la plaque.

■ Plaques rectangulaires

Les côtés de la plaque sont : encastrés, appuyés, libres ou combinés. La charge qui vient déformer la plaque, crée une sollicitation de flexion simple. Le plan moyen vient donc se déformer, deux moments fléchissants occasionnés autour des deux axes constituant le plan médian, comme dans tous les cas de flexion, ils engendrent deux contraintes (force par unité de surface).

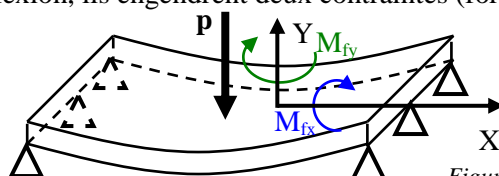


Figure 31 : Déformation du plan moyen et moments de flexion.

On peut visualiser ces grandeurs avec le module de calculs par éléments finis sur RDM le Mans 6 :

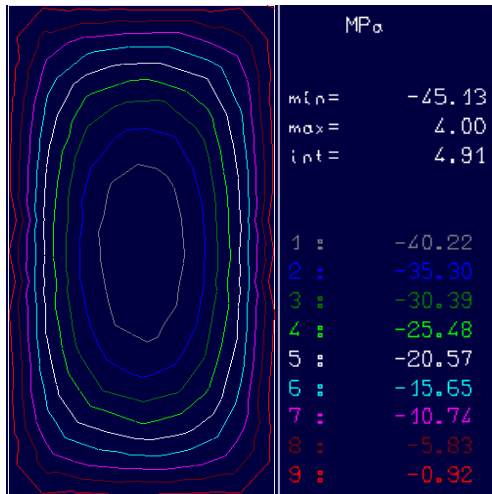


Figure 32 : Visualisation d'une contrainte de flexion par Isolignes. (RDM6)

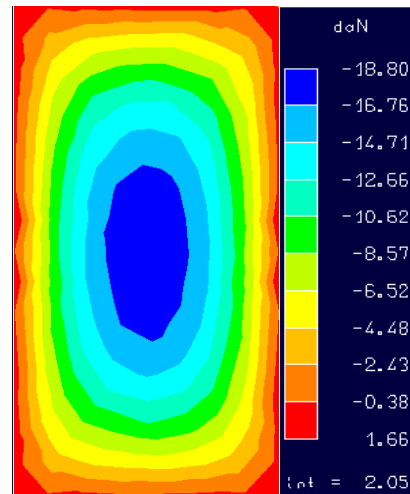


Figure 33 : Visualisation d'un moment de flexion par Isovaleurs. (RDM6)

On remarque sur l'image modélisant le moment de flexion par Isovaleurs que les résultats sont donnés en daN, théoriquement on sait qu'un moment correspond au produit d'une force avec une longueur. Néanmoins, dans ce cas là on a un moment par unité de longueur, soit des daN.m/m. C'est pourquoi dans certains cas de charge il est nécessaire de vérifier l'homogénéité des dimensions.

▪ Plaques circulaires

Dans l'étude des cas classiques, deux types de maintien en position de la plaque est envisageable : bord encasté, bord appuyé. Comme pour les plaques rectangulaires, deux moments de flexion occasionneront deux contraintes de flexion, on les appellera : contrainte de flexion radiale et tangentielle. Comme expliqué ci-dessus, dans certains cas de charge il faut faire attention aux dimensions de l'équation. Par exemple, dans le cas d'une charge uniforme concentrique, il faut multiplier la charge surfacique par l'aire du domaine chargé :

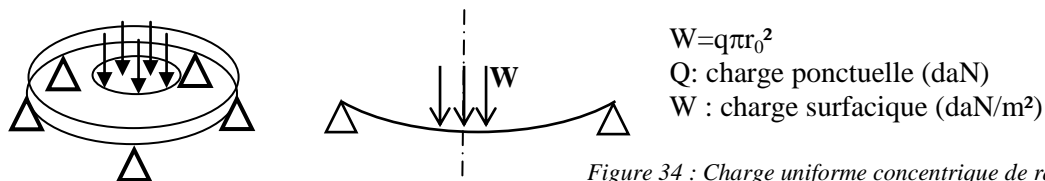


Figure 34 : Charge uniforme concentrique de rayon r_0 sur une plaque appuyée.

IV.3.2.4.4 Déformées

Dans le cas des plaques rectangulaires, la flèche maximale dépend du maintien en position de la plaque, tandis que dans le cas des plaques circulaires, en général elle est maximale au centre.

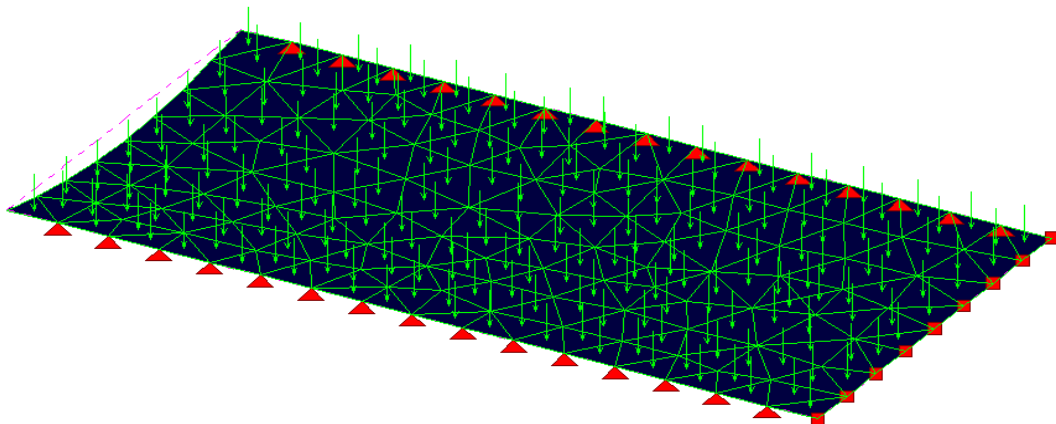


Figure 35 : Modélisation de la déformée d'une plaque encastree d'un côté appuyée sur les grands côtés et le 4^{ème} est libre (RDM6).

V. CONCEPTION DES LOGICIELS

V.1 Objectifs des logiciels

Après avoir épuré l'ensemble des calculs, et édifié l'architecture globale de chaque logiciel, on a défini un outil informatique pour concevoir notre programme. Dans un bureau d'études, la rédaction des documents d'informations emmène à disposer du pack office. Le programme ne demandant pas des fonctions sophistiquées, on a donc décidé d'élaborer notre logiciel à partir d'Excel. Excel se présente sous la forme d'un tableau constitué de cases appelées cellules, qui permettent d'effectuer des opérations entre elles. Il est possible de créer des feuilles de calculs, ainsi que de mettre les calculs qu'elles contiennent en relation entre eux.

Les logiciels conçus ne doivent pas demander de compétences en langage informatique à son utilisateur, un novice doit pouvoir l'utiliser. Ils doivent à la fois, être synthétique et regrouper l'ensemble des informations nécessaires à l'opérateur. Dans l'objectif de faciliter l'utilisation de chacun d'entre eux, leur méthode d'utilisation sera commune, la présentation dans sa globalité est similaire seul le contenu nécessaire au raisonnement technique change.

Chaque logiciel comprend une feuille de présentation qui sert d'interface « homme-machine », l'opérateur doit impérativement travailler que sur cette page pour ne pas modifier des éléments qui nuiraient à la véracité des résultats. De plus étant donné qu'elle regroupe l'ensemble des informations, elle peut être utilisée comme justificatifs de conformité.

V.2 Architecture

V.2.1 Vue générale

Chaque programme constitue un fichier unique composé de feuilles de calculs (calculs solive, calculs panne, présentation solive,...).

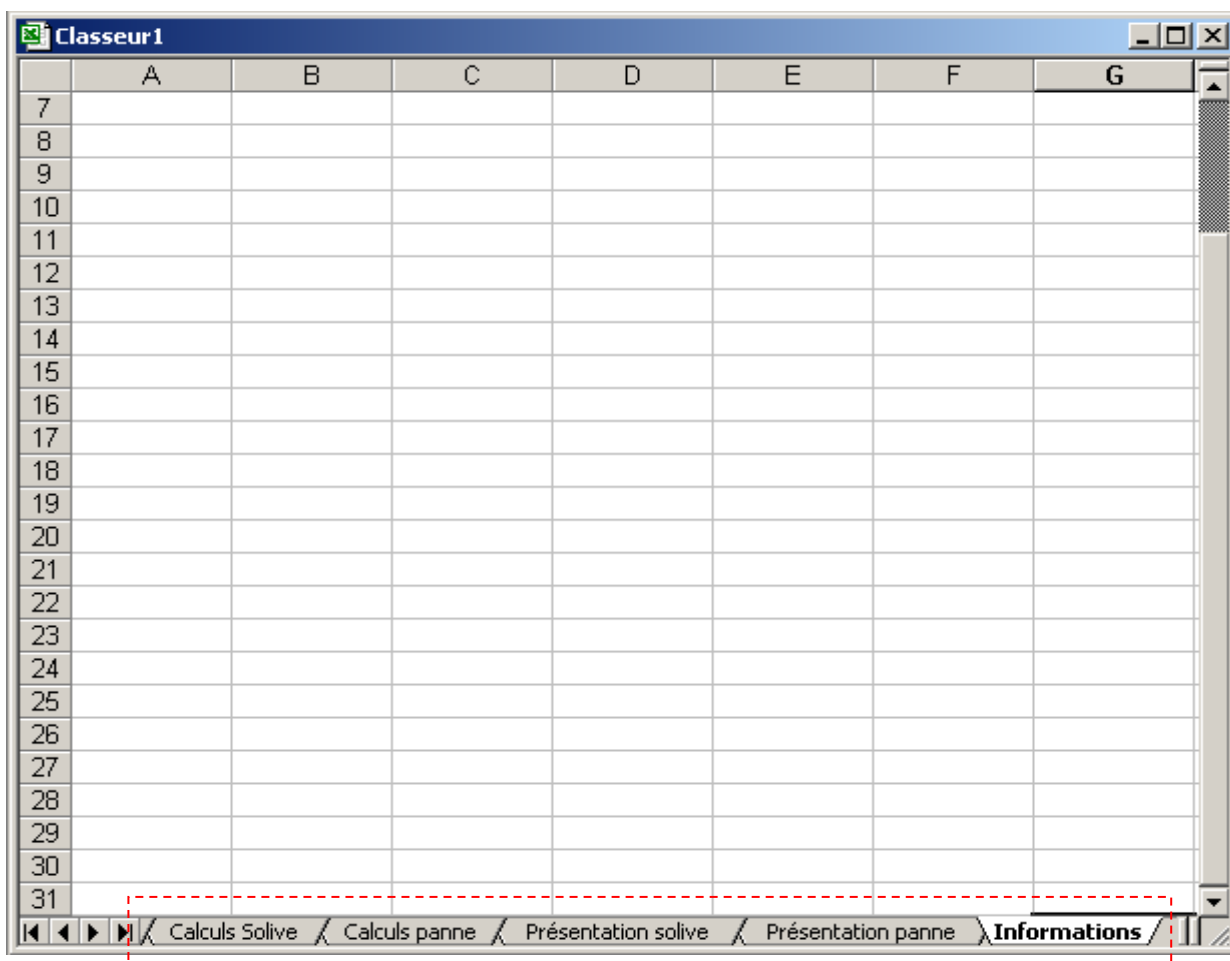


Figure 38 : Vue générale du programme solive & panne

V.2.2 Feuilles de calculs

V.2.2.1 Feuille des caractéristiques

La première feuille, « Caractéristiques », regroupe les propriétés mécaniques et physiques intrinsèques à chaque essence de bois : les contraintes admissibles, les propriétés de rigidités, les limites d'élasticités conventionnelles, l'humidité. L'ensemble de ces données correspond aux limites acceptables du matériau, elles sont donc utiles pour valider ou non notre pièce. Elles sont déterminées expérimentalement et données par la norme française « NF P 21-400 ».

Contraintes admissibles et propriétés de rigidité																
		Résineux et peuplier						Feuillus					Lamellé-collé			
Classe (MPa)		C18	C22	C24	C27	C30	D30	D35	D40	D50	D60	D70	GL24h	GL28h	GL24c	GL28c
Flexion	σ_r	8,0	10,0	11,0	12,0	13,2	13,2	15,4	17,6	22,0	26,4	30,8	10,9	12,7	10,9	12,7
Traction axiale	σ	5,0	6,0	6,5	7,0	8,0	7,9	9,2	10,5	13,2	15,8	18,5	7,5	8,9	6,4	7,5
Traction perpendiculaire	σ_t	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
compression axiale	σ'	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	10,1	11,0	11,4	12,7	14,1	14,9	10,9	12,0	9,5	10,9
Compression perpendiculaire	σ'_t	2,1	2,2	2,3	2,5	2,5	3,5	3,7	3,9	4,3	4,6	4,9	2,4	2,8	2,2	2,4
Cisaillement	τ	0,9	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	1,2	1,5	1,0	1,2
Module de Young	E_r	8000	9000	10000	10500	11000	9000	9500	10000	12500	15000	18000	10500	11500	10500	11500
Module de cisaillement	E_G	500	550	600	650	700	550	600	650	800	950	1100	650	700	550	650
Limites d'élasticité conventionnelle																
		Résineux et peuplier						Feuillus					Lamellé-collé			
Classe (MPa)		C18	C22	C24	C27	C30	D30	D35	D40	D50	D60	D70	GL24h	GL28h	GL24c	GL28c
Flexion	σ_r	14,00	17,50	19,25	21,00	23,10	23,10	26,95	30,80	38,50	46,20	53,90	19,08	21,35	19,08	22,23
Traction axiale	σ	11,25	13,50	14,63	15,75	18,00	17,78	20,70	23,63	29,70	35,55	41,63	16,88	20,03	14,40	16,88
Traction perpendiculaire	σ_t	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,60	0,30	0,30	0,30	0,30
compression axiale	σ'	12,75	13,50	14,25	15,00	15,75	15,15	16,50	17,10	19,05	21,15	22,35	16,35	18,00	14,25	16,35
Compression perpendiculaire	σ'_t	3,15	3,30	3,45	3,75	3,75	5,25	5,55	5,85	6,45	6,90	7,35	3,60	4,20	3,30	3,60
Cisaillement	τ	1,35	1,65	1,65	1,80	1,95	1,95	2,25	2,55	3,00	3,45	3,90	1,80	2,25	1,50	1,80
Masse volumique																
		Résineux et peuplier						Feuillus					Lamellé-collé			
		C18	C22	C24	C27	C30	D30	D35	D40	D50	D60	D70	GL24h	GL28h	GL24c	GL28c
Masse volumique (kg/m³)	ρ	380	410	420	450	460	640	670	700	780	840	1080	440	480	420	460
Humidité du bois:																
Humidité du bois (%)	H	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	30,0						
Coefficient (flexion)		1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7						

Figure 39 : Feuille de caractéristiques.

V.2.2.2 Feuilles de calculs RDM

V.2.2.2.1 Feuille de calculs solive

Cette feuille correspond à l'automatisation des calculs de RDM propre à une solive.

Cette page comprend :

- Le matériau sélectionné (C18, D60, FL28h,...).
- Ses propriétés mécaniques ($\sigma_{f.adm}$, σ'_t , τ ,...).
- Les données entrées (l, b, h,...).
- Les opérations (I, S, Sc, θ ,...).
- Les combinaisons (contraintes/déformées 1^{er} genre, 2nd genre, instantanée, longue durée).
- Les calculs de contraintes réelles (Mf, T, σ_f , σ'_t , τ ,..., pour la charge surfacique, ponctuelle et combinée du premier, second genre et de longue durée).
- Les calculs de déformées réelles (flèche instantanée, de longue durée et totale pour les charges surfaciques, ponctuelle et combinée).
- Les contraintes admissibles, les limites d'élasticités et la flèche admissible pour comparer avec les valeurs réelles).

Choix du matériaux:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</
----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

V.2.2.2.2 Feuille de calculs panne

Choix du matériaux:					
Désignation	C24	Matériau sélectionné.			
Propriétés mécanique du matériaux sélectionné:					
Module de Young (MPa)	10000	} Propriétés mécaniques : Affichage de l'ensemble des propriétés mécaniques (admissibles et conventionnelles) du matériau sélectionné.			
Contrainte de flexion admissible (MPa)	11,0				
Contrainte de flexion conventionnelle (MPa)	19,25				
Contrainte de compression perpendiculaire admissible (MPa)	2,30				
Contrainte de compression perpendiculaire conventionnelle (MPa)	3,45				
Contrainte de cisaillement admissible (MPa)	1,10				
Contrainte de cisaillement conventionnelle (MPa)	1,65				
Masse volumique (kg/m³)	420				
Coefficient flexion "fonction de l'humidité (H et ΔH)"	1				
Données entrées		Opérations			
Longueur (m)	2,5	Masse linéique (kg/m)	2,0	} Variables : calculs des variables (Iz, Iy, S...)	
Base (mm)	60	Iz: Moment d'inertie /z (m⁴)	2,56E-06		
Hauteur (mm)	80	Iy: Moment d'inertie /y (m⁴)	1,44E-06		
α1 direction de la panne (°)	14,0362	Iz/v (m³)	6,40E-05		
α2 direction du vent (°)	0,0000	Iy/v (m³)	4,80E-05		
Bande de charge (m)	0,6	Section (m²)	0,0048		
H: Pourcentage d'humidité (%)	15	Poids propre (daN/m²)	3,36		
ΔH= MAX humidité-MIN humidité (%)	15	coefficient de fluage	2,87		
Pourcentage S instantané (%)	80		2,87		
Pourcentage S longue durée (%)	20	flèche admissible (mm)	13		
Largeur de l'appui (mm)	50	Surface de compression(mm²)	3000		
Flèche admissible (portée 1/)	200	coeff max de f/ nb d'appuis	1,000		
Nombre de lien par travée	0				
Nombre d'appuis	2				
Charges (daN/m²)		Suivant Z	Suivant Y	} Charges : Projection des charges sur les deux axes principaux	
Charge Permanente	8	34			
Charge Permanente + poids propre	9	37			
Surcharge d'exploitation surfacique	36	146			
Pv(+): Vent ascendant	0	0			
Pv(-): Vent descendant	0	0			
Pve(+): Vent extrême ascendant	0	0			
Pve(-): Vent extrême descendant	0	0			
Pn: Neige normale	0	0			
Pne: Neige extrême	0	0			
Pn,acc: Neige accidentelle	0	0			
Coefficients		Coefficients : de vent et neige extrême, et neige accidentelle.			
Coef vent extrême	1,74				
Coef Neige extrême	1,72				
Coef Neige accidentelle	0,00				
Combinaisons :					
Contraintes (daN/m):					
1er genre		Suivant Z	Suivant Y	} Combinaison du 1 ^{er} et 2 nd genre calculs des contraintes	
CP+1,2S	31,78	127,10			
CP+S+Pn	27,41	109,64			
CP+S+Pv(+)+0,5Pn	27,41	109,64			
CP+S+Pv(-)+0,5Pn	27,41	109,64			
2nd genre		Suivant Z	Suivant Y		
1,1CP+1,5S+1,1Pve(+)+0,5Pne	38,88	155,53			
1,1CP+1,5S+1,1Pve(-)+0,5Pne	38,88	155,53			
CP+S+Pn,acc	27,41	109,64			
Déformées (daN/m):		Suivant Z	Suivant Y	} Combinaison de longue durée utilites aux calculs	
Combinaison de longue durée	9,95	39,79			
Combinaison instantanée	17,46	69,85			
Moments fléchissants max (daN.m):		Poutre de longueur L à travées constantes sur 2 appuis			
		Suivant Z	Suivant Y	Z*Y	
1er genre	24,83	99,30			
2nd genre	30,38	121,51			
longue durée	7,77	31,09			
Efforts Tranchants max (daN):					
1er genre	39,72	158,88			
2nd genre	48,60	194,41			
Contraintes réelles max (MPa):					
Contraintes de flexion réelles max					
1er genre	3,88	20,69	24,57	>	11,00
Ratio flexion 1er genre			2,23		
2nd genre	4,75	25,31	30,06	>	19,25
Ratio flexion 2nd genre			1,56		
longue durée	1,21	6,48	7,69		
Contraintes de compression perpendiculaire réelles max					
1er genre	0,13	0,53	0,66	<	2,30
Ratio compression perpendiculaire 1er genre			0,29		
2nd genre	0,16	0,65	0,81	<	3,45
Ratio compression perpendiculaire 2nd genre			0,23		
Contraintes de cisaillement réelles max					
1er genre	0,12	0,50	0,62	<	1,10
Ratio cisaillement 1er genre			0,56		
2nd genre	0,15	0,61	0,76	<	1,65
Ratio cisaillement 2nd genre			0,46		
Flèches (mm):					
Flèche instantanée		14		} Flèches	
Flèche longue durée		8			
Flèche longue durée avec fluage		23			
Flèche totale		37			
		Instantanée	Longue durée (fluage)	Totale	Adm
Rapport: L / Flèche		180	110	68	200

Données :
affichage des données entrées sur la page présentation.

Charges :
Projection des charges selon les deux axes principaux.

Combinaisons :
du 1^{er} et 2nd genre, utiles aux calculs des contraintes.

Combinaisons :
de longue durée et instantanée, utiles aux calculs de flèches.

Moments de flexion :
du 1^{er}, 2nd genre et longue durée.

Efforts tranchant :
du 1^{er} et 2nd genre.

Contraintes de flexion : du 1^{er}, 2nd genre, et longue durée.

Contraintes de cisaillement :
du 1^{er} et 2nd genre.

Flèches : instantanée, longue durée, longue durée avec fluage, totale.

Contraintes de compression transversale :
du 1^{er} et 2nd genre.

Rapport :
longueur/flèche

Figure 41 : Feuille de calcul panne.

V.2.2.3 Feuilles de présentation

Pour simplifier la prise en main du logiciel et éviter d'endommager l'ensemble des calculs, le technicien doit intervenir seulement sur un écran dit de présentation. Cette feuille comprendra :

La liste des données que doit saisir l'opérateur :

- Choix du matériau (chêne, peuplier, etc...).
- Géométrie de la poutre (longueur, hauteur, base).
- Charges appliquées à la poutre (types de charges et de sollicitations).
- Conditions d'utilisation (pourcentage d'humidité, variation d'humidité).
- Mise en position (nombre d'appuis, nombre de liens par travée).

Les caractéristiques mécaniques du matériau sélectionné :

- Ensemble des contraintes admissibles (flexion, compression, cisaillement).
- Propriétés de rigidité (module axial, module de cisaillement).
- Masse volumique moyenne.

Les résultats des calculs :

- Contraintes réelles (flexion, compression, cisaillement).
- Déformées (flèche instantanée, flèche de longue durée, flèche totale).
- Message explicite de conformité («Panne/Solive Correcte», «Panne/Solive à Revoir»).
- Contraintes admissibles.
- Flèche admissible.

Géométrie de la poutre:

Types de charge:

Charge ponctuelle (daN)

Charges Permanentes 10
Surcharges d'exploitation 0

Charge surfacique (daN/m²)

Charges Permanentes 30
Surcharges d'exploitation 20

Charge combinée

Données:

Matériau	C30
Longueur (m)	4
Base (mm)	60
Hauteur (mm)	80
Bande de charge (m)	0,60
H. Humidité (%)	15
Variation d'humidité ΔH (%)	15
S longue durée (%)	20
Largeur d'appui (mm)	50
Flèche admissible (portée 1/)	400

Propriétés du matériau:

α	MPa	13,2
σ	MPa	8
α_c	MPa	0,2
σ'	MPa	10,5
σ'_t	MPa	2,5
τ	MPa	1,3
E_t	MPa	11000
E_0	MPa	700
ρ	kg/m³	460

Résultats:

Contraintes (MPa):

	TYPE DE CHARGE			α_f admissible
	Surfacique	Ponctuelle	Combinée	
α_f réelle max	10,82	1,56	12,38	13,20
genre	1er	1er	1er	
α'_t réelle max	0,23	0,02	0,25	2,50
genre	1er	1er	1er	
τ réelle max	0,22	0,02	0,23	1,30
genre	1er	1er	1er	

Déformations (mm):

Flèche instantanée	11	soit 1/352 de la portée
Flèche longue durée	85	soit 1/47 de la portée
Flèche totale	96	soit 1/41 de la portée
flèche admissible	10	soit 1/400 de la portée

Contraintes correctes **Flèche à revoir !!!**

SOLIVE A REVOIR !!!

Géométrie de la poutre:

Orientation

Données:

Matériau	C24
Longueur (m)	4
Base (mm)	60
Hauteur (mm)	100
Bande de charge (m)	0,6
H. Humidité (%)	15
Variation d'humidité ΔH (%)	15
S longue durée (%)	20
Largeur d'appui (mm)	50
Flèche admissible (portée 1/)	200
α1 direction de la panne (°)	10
α2 direction du vent (°)	0
Nombre de lien(s) par travée	2
Nombre d'appuis	4

Type de charge:

Charge surfacique

Charges (daN/m²):

Charges Permanentes	50
Surcharges d'exploitation	100
Vent descendant "aspiration"	60
Vent descendant "appui"	0
Neige normale	30

Coefficients:

Coef vent extrême (moy=1,75)	1,75
Coef neige extrême (moy=1,72)	1,72
Coef neige accidentelle	0

Charges défavorables (daN/m²):

	Genre
Verticales (V2)	1er 2nd
Horizontales (V1)	136 208

Résultats:

Contraintes (MPa):

α_f réelle max	4,12	α_f admissible 11,00
genre	1er	
α'_t réelle max	0,15	2,30
genre	1er	
τ réelle max	0,11	1,10
genre	1er	

Contraintes correctes **Flèche à revoir !!!**

Déformations (mm):

Flèche instantanée	32	soit 1/127 de la portée
Flèche longue durée	0	soit 1/14239 de la portée
Flèche totale	32	soit 1/126 de la portée
flèche admissible	20	soit 1/200 de la portée

Contraintes correctes **Flèche à revoir !!!**

PANNE A REVOIR !!!

Figure 42 : Feuilles de présentation : solive et panne.

En ce qui concerne les calculs RDM, chaque cas est regroupé sur une feuille de calculs contenant les trois types de charges.

Charge uniforme														
Données														
p	700	b/a	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	3,0
a	800	α	0,0443	0,053	0,0616	0,0697	0,077	0,0843	0,0906	0,0964	0,1017	0,1064	0,1106	0,1336
b	1000	β	0,0479	0,0553	0,0626	0,0693	0,0753	0,0812	0,0862	0,0908	0,0948	0,0985	0,1017	0,1189
h	5	δ	0,0479	0,0494	0,0501	0,0504	0,0506	0,0499	0,0493	0,0486	0,0479	0,0471	0,0464	0,0404
E	210000	γ	0,338	0,36	0,38	0,397	0,411	0,424	0,435	0,444	0,452	0,459	0,465	0,493
b/a	1,25	γ_l	0,338	0,347	0,353	0,357	0,361	0,363	0,365	0,367	0,368	0,369	0,369	0,372
		Mfx	310,5											
		Mfy	225,8											
		σ_x	74,5											
		σ_y	54,2											
		f	8											
Charge Ponctuelle														
Valeurs du coefficient β pour b=a														
Données														
p	700	a1/a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
a	500	b1/a	0,0	0,321	0,251	0,209	0,180	0,158	0,141	0,125	0,112	0,102	0,092	
b	1000		0,1	0,378	0,284	0,232	0,197	0,170	0,150	0,134	0,120	0,108	0,098	0,088
a1	0		0,2	0,308	0,254	0,214	0,184	0,161	0,142	0,127	0,114	0,103	0,093	0,084
b1	0		0,3	0,262	0,225	0,195	0,168	0,151	0,134	0,120	0,108	0,098	0,088	0,080
h	5		0,4	0,232	0,203	0,179	0,158	0,141	0,126	0,113	0,102	0,092	0,084	0,076
E	210000		0,5	0,208	0,185	0,164	0,146	0,131	0,116	0,106	0,096	0,087	0,079	0,071
a1/a	0		0,6	0,188	0,168	0,150	0,135	0,121	0,109	0,099	0,090	0,081	0,074	0,067
b1/a	0		0,7	0,170	0,153	0,137	0,124	0,112	0,101	0,091	0,083	0,076	0,069	0,062
b/a	2		0,8	0,155	0,140	0,126	0,114	0,103	0,094	0,085	0,077	0,070	0,063	0,057
			0,9	0,141	0,127	0,115	0,104	0,094	0,086	0,078	0,070	0,064	0,058	0,053
			1,0	0,127	0,115	0,105	0,095	0,086	0,078	0,071	0,064	0,058	0,053	0,048
				0,000	0,321	0,251	0,209	0,180	0,158	0,141	0,125	0,112	0,102	0,092
		β	0											
		Mf	0											
		α	0											

Figure 45 : Aperçu des calculs RDM pour une plaque métallique sur 4 appuis.

VI.1.2 Limites

La principale limite du logiciel est basée sur le nombre d'appuis et le nombre de liens par travée. En effet, il aurait été intéressant de concevoir un logiciel qui n'a aucune limite, c'est à dire : un programme capable d'effectuer les calculs pour « n » appuis et « n » liens. Cependant, le calcul des coefficients à appliquer à Mfy, Mfz, Ty et Tz qui sont fonctions du nombre de liens et du nombre d'appuis devient fastidieux. De plus, il faut envisager le cas le plus défavorable pour chaque situation, soit le point le plus critique qui lie les moments et les efforts tranchants sur les deux axes. A chaque possibilité (2 appuis 3 liens, 3 appuis 1 lien, etc..) il faut donc déterminer la position des points critiques, Mfy et Mfz (respectivement Ty, Tz) à chaque point critique et regarder le point le plus défavorable. Faire une étude RDM pour chaque combinaison n'est pas envisageable du point de vue rentabilité. J'ai donc limité le logiciel à 1,2,3 ou une infinité de liens par travée et un nombre d'appuis égal à 2, 3 ou 4. Soit 15 combinaisons possibles :

2 appuis

0 lien

1 lien

2 liens

3 liens

∞ liens

3 appuis

0 lien

1 lien

2 liens

3 liens

∞ liens

4 appuis

0 lien

1 lien

2 liens

3 liens

∞ liens

		2					3					4					
Nombre d'appuis		2					3					4					
Nombre de lien(s)		0	1	2	3	Infinité	0	1	2	3	Infinité	0	1	2	3	Infinité	
genre	1er	Mfy max	272	68	24	10	0	272	68	24	18	0	272	68	24	15	0
		Mfz max	38	38	34	38	38	10	2	1	1	2	1	0	1	0	0
		Ty max	272	272	272	272	272	170	64	64	64	64	109	29	29	29	29
		Tz max	38	14	10	8	0	0	24	0	9	0	13	11	15	4	0
	2nd	Mfy max	417	104	37	15	0	417	104	37	28	0	417	104	37	23	0
		Mfz max	49	49	44	49	49	12	3	1	2	3	1	0	1	0	0
		Ty max	417	417	417	417	417	261	98	98	98	98	167	45	45	45	45
		Tz max	49	18	13	10	0	0	31	0	11	0	16	14	20	5	0
	Longue durée	Mfy max	88	22	8	3	0	88	22	8	6	0	88	22	8	5	0
		Mfz max	15	15	14	15	15	4	1	0	1	1	0	0	0	0	0

Figure 46 : Bilan de tout les calculs de moments de flexion et efforts tranchant prépondérant.

Mf en ddt.m.	points de calcul	coeff Mfz										coeff Ty										coeff Tz											
		L/10,23					L/7,5					L/5,33					L/3,0					L/2					L/1,5						
		0,088	0,133	0,188	0,250	0,333	0,375	0,500	0,098	0,133	0,188	0,250	0,333	0,375	0,500	0,000	0,250	0,333	0,500	0,000	0,000	0,000	0,250	0,333	0,500	0,000	0,000	0,000	0,250	0,333	0,500		
0	1er genre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2nd genre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1er genre	0	0	38	0	0	0	68	0	0	23	0	0	0	38	0	0	62	0	0	0	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	
	2nd genre	0	0	59	0	0	0	104	0	0	30	0	0	0	49	0	0	89	0	0	0	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	
	longue durée	0	0	12	0	0	0	22	0	0	9	0	0	0	15	0	0	22	0	0	0	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
	longue durée	0	19	0	0	24	0	6	0	18	0	0	0	34	0	38	0	38	0	0	69	0	45	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
2	1er genre	0	30	0	0	37	0	9	0	23	0	0	44	0	49	0	53	0	0	81	0	59	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
	2nd genre	0	6	0	0	8	0	2	0	7	0	0	14	0	15	0	14	0	0	22	0	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
	longue durée	10	0	0	15	0	5	10	14	0	0	29	0	36	38	25	0	0	44	0	41	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
	longue durée	16	0	0	22	0	8	15	17	0	0	37	0	46	49	34	0	0	60	0	54	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
3	1er genre	3	0	0	5	0	2	3	5	0	0	12	0	14	15	9	0	0	17	0	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	2nd genre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
Infinité	1er genre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2nd genre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	longue durée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
T en ddt.m.	points de calcul	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2
	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
0	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
1	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
2	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
3	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
Infinité	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
T en ddt.m.	points de calcul	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2
	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
0	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
1	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
2	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
3	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
Infinité	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															
T en ddt.m.	points de calcul	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2	0	L/4	L/3	L/2
	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
0	1er genre	272																															
	2nd genre	417																															
	longue durée	272																															
	longue durée	417																															

Figure 47 : Calculs des moments et efforts aux points critiques et recherche du plus défavorable pour une poutre sur 2 appuis.

VI.1.3 Outils d'analyse et de modélisation

VI.1.3.1 R.D.M 6 le Mans

Yves DEBARD, professeur à l'Institut Universitaire de Technologie du Mans, au département Génie Mécanique et Productique est l'auteur d'RDM 6. Il permet de multiples études : flexion des poutres, ossatures et calcul par éléments finis. Les calculs de RDM (Mf, T, contraintes, déformées), peuvent être représentés par des graphiques 2D. Dans un premier temps, j'ai utilisé ce logiciel dans le cas de la flexion simple pour visualiser l'allure des graphiques en fonction de la situation étudiée. Ces courbes permettent une autocritique des calculs et une visualisation des points critiques.

De plus, RDM 6 permet de connaître en un point de la poutre le moment et la contrainte de flexion, l'effort tranchant, la déformée et la pente en fonction des propriétés géométriques de la poutre et du matériau. J'ai donc pu valider respectivement mon logiciel de calculs de solive et de plaques métalliques à l'aide des modules flexion d'une poutre droite et flexion des plaques par éléments finis.

VI.1.3.2 Excel

Excel est un logiciel du pack Office, il se présente sous la forme d'un tableur composé de cellules repérées par un numéro de ligne et une lettre pour chaque colonne. De plus, le tableur Excel propose des fonctions qui agissent sur des cellules, on peut donc faire des opérations liées entre elles, et par conséquent automatiser une série de calculs. C'est à dire, que l'opérateur peut à partir d'un point de données qu'il renseigne aboutir à un résultat avec des opérations intermédiaires qui se mettent à jour à chaque modification des données. Les fonctions utilisées dans les logiciels sont :

- Les fonctions d'arithmétiques basiques :

Addition ; soustraction ; multiplication et division entre cellules (+ ; - ; * ; /).

A	B	C
67	1,1CP+1,5S+1,1Pve(+)+0,5Pne	27,34

A	B	C
38	Charge Permanente	35
39	Charge Permanente + poids propre	35
40	Surcharge d'exploitation surfacique	1
41	Pv(+): Vent ascendant	0
42	Pv(-): Vent descendant	0
43	Pve(+): Vent extrême ascendant	0
44	Pve(-): Vent extrême descendant	0
45	Pn: Neige normale	5
46	Pne: Neige extrême	9
47	Pn.acc: Neige accidentelle	0

Formule dans la cellule C67 : $= (1,1 * C39 + 1,5 * C40 + 1,1 * C43 + 0,5 * C46) * C25$

- Création d'une liste :

A partir d'une liste de nombres ou de caractères, il est possible de créer une cellule de choix qu'on peut intégrer dans les calculs par la suite.

Matériaux	
C18	
C22	
C24	
C27	
C30	
D30	
D40	
D50	
D60	
D70	
GL24h	
GL28h	
GL24c	

Matériaux	C24
	C24
	C27
	C30
	D30
	D40
	D50
	D60
	D70

Matériaux	C24
-----------	-----

- Année 2009-2010

VI.2.2 Etat actuel et avenir du projet

A ce jour chaque logiciel n'a pas le même état. Le logiciel de calculs solive & panne est réalisé, il est également validé en comparant les résultats avec une analyse numérique sous « AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS ». En ce qui concerne les logiciels de plaques métalliques rectangulaires et circulaires, leurs conceptions sont bien avancées, c'est à dire qu'ils comprennent déjà une grande partie des sollicitations possibles, néanmoins si nécessaire certains cas particuliers peuvent être ajoutés. Pour les deux logiciels l'ensemble des calculs a été validé à l'aide du module flexion des plaques par éléments finis d'RDM6, de plus j'ai comme pour les solives établi un document justificatif.

Dans le futur, pour éviter de modéliser numériquement la pièce à dimensionner et libérer les outils numériques nécessitant une licence d'utilisation, l'ensemble des logiciels conçu pourra être mis à disposition de tous les calculateurs. Le logiciel « panne » peut être source d'un nouveau projet d'études avec comme mission principale de généraliser le programme à une infinité d'appuis et des travées de longueur variable.

VALIDATION CALCULS PLAQUES RECTANGULAIRES:									
CHARGE UNIFORME:									
4 appuis simples:									
Données				Résultats					
						EXCEL	RDM6		
longueur	mm	1000	Mfx	N.m/m		310	296		
largeur	mm	800	Mfy	N.m/m		226	224		
épaisseur	mm	5	σ_x	Mpa		75	71		
charge	daN/m ²	700	σ_y	Mpa		54	53		
module de Young	Mpa	210000	f	mm		8	7		OK
4 encastres:									
				Résultats					
						EXCEL	RDM6		
longueur	mm	1000	Mfx	N.m/m		308	312		
largeur	mm	800	Mfy	N.m/m		240	257		
épaisseur	mm	5	σ_x	Mpa		74	74		
charge	daN/m ²	700	σ_y	Mpa		58	61		
module de Young	Mpa	210000	f	mm		2	2		OK

Figure 49 : Extrait de la validation du logiciel « plaques métalliques rectangulaires ».

VII. GESTION DU PROJET

PLANNING STAGE ING I du 01/02/2010 au 26/03/2010										
SEMAINE		1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL
Mise en situation										7
	Analyse du projet									
	Prise de connaissance des règles bois « CB.71 »									
	Analyse solive									
	Analyse panne									
	Analyse plaques									
Dimensionnement										6
	RDM solive									
	RDM panne									
Conception										7
	Logiciel « solive & panne », sous-programme solive									
	Logiciel « solive & panne », sous-programme panne									
	Logiciel « plaques rectangulaires »									
	Logiciel « plaques circulaires »									
Rapport et Soutenance										3
	Réalisation du rapport									
	Réalisation de la soutenance									

A mon arrivée, le 01 février 2010, le projet qui m'a été confié avait été abordé de façon très succincte par mon tuteur Christophe PAINGAUD. Ce dernier a eu l'amabilité de me fournir quelques conseils de conception ainsi que des ouvrages de résistance des matériaux qui m'ont été très utiles à l'élaboration des trames de calculs.

La première partie du projet étant la conception d'un logiciel de calculs pour une solive, j'ai d'abord effectué une lecture complète des règles de calculs et de conception des charpentes en bois (C.B.71). Ce guide a pour objet de codifier les méthodes de calculs applicables à l'établissement des projets de charpentes en bois afin que celles-ci offrent un degré de sécurité approprié à leur destination et à leur durée. Grâce à ces méthodes et à l'ouvrage « aide-mémoire, Résistance des matériaux » qui m'a été remis, j'ai mis en place assez facilement la trame de calculs nécessaire à la recherche des contraintes et déformées existantes dans une solive. L'automatisation de l'ensemble des calculs c'est faite rapidement avec les conseils réguliers de Monsieur PAINGAUD.

Durant les semaines qui ont suivi, je me suis penché sur l'automatisation des calculs RDM propre à une panne bois. Le dimensionnement de cette pièce étant proche de celui d'une solive j'ai effectué le programme dans le même répertoire de travail sur une feuille différente en adaptant les formules au cas étudié. Au cours de cette partie j'ai été confronté à un problème au niveau de l'objectif visé. La contrainte principale déterminée lors de la définition du projet était de concevoir un logiciel dit : « sans limite » ; c'est à dire un programme capable de dimensionner une panne sur n points d'appuis, avec n liens par travée de longueur x . Cependant, cette contrainte demande des connaissances en mécanique des milieux continus que je ne possédais pas. Après un certain temps de réflexion sans résultat certifié, j'ai pris la décision de fixer des limites dans le but de rendre un outil utile pour la société. Comme pour la solive, une fois la trame de calculs RDM établie théoriquement, son automatisation fut assez rapide étant donné que la présentation et les fonctions utilisées sont très similaires au logiciel précédent.

Ce premier logiciel comprend donc : une feuille de caractéristiques bois qui regroupent les propriétés mécaniques de chaque essence, deux feuilles de calculs (solive et panne), deux feuilles de présentation propre à chaque pièce qui servent d'interface utilisateur et pour terminer une notice d'utilisation du logiciel est mise à disposition du calculateur.

Au cours des dernières semaines, Christophe PAINGAUD m'a proposé de me pencher sur la théorie des plaques métalliques. Ces dernières sont généralement calculées à l'aide de logiciel de calculs par éléments finis, cependant un certain nombre de grand mécanicien (Levy, Estanave, Galerkin, Timoshenko) ont établi des formules de calculs et des tables de coefficients qui permettent de les dimensionner théoriquement. N'ayant pas eu l'occasion de les avoir étudiées durant mon DUT GMP, mon tuteur m'a confié l'ouvrage « Formulas for Stress and Strain de J.ROARKS et C.YOUNG » qui m'a permis de réaliser deux logiciels. Un premier permet de dimensionner les plaques métalliques de géométrie rectangulaire, tandis que le second est propre à une géométrie circulaire.

A ce jour, le bureau d'études ECTA a donc à sa disposition trois logiciels de calculs : un premier programme constitué de deux sous programmes (solive et panne bois), un second pour le calcul des plaques métalliques rectangulaires et un troisième pour les plaques métalliques circulaires. J'ai validé les programmes de plaques à l'aide du logiciel « RDM 6 », et les programmes panne et solive en comparant les résultats Excel avec ceux d'un ingénieur calculateur qui travaillait sur un projet de charpente bois. En ce qui concerne les améliorations, le programme « solive&panne » est finalisé. Pour les logiciels adaptés à la flexion des plaques, d'autres situations (type de charge, mise en position de la plaque) peuvent être envisagées, dans ce cas l'opérateur aura la possibilité de l'ajouter à ceux créés pendant le stage.

VIII. CONCLUSION

Le calcul de structure utilise principalement les hypothèses, les théorèmes et les formules de la résistance des matériaux classiques, il peut donc être effectué avec des outils différents du calcul assisté par ordinateur spécialisé mécanique. Par conséquent, le travail de conception présenté dans ce mémoire est une contribution à l'automatisation des calculs RDM sous Visual Basic.

Dans ce mémoire, notre démarche a été développée en trois étapes pour atteindre ces objectifs :

- Logiciel de calculs de solive ;
- Logiciel de calculs de panne ;
- Logiciel de calculs de plaques métalliques rectangulaires ;
- Logiciel de calculs de plaques métalliques circulaires.

Après une description de la société, du besoin et du projet, nous nous sommes intéressés à la conception des trames de calculs qui devront être automatisées. Les solives et pannes étant dans mon thème des pièces bois, leurs dimensionnements ont été établis selon les règles de calculs et de conception des charpentes en bois C.B 71. Le sous-programme « solive » fonctionne parfaitement, reste à vérifier le sous-programme « panne » à l'aide d'un outil adapté.

Les logiciels de calculs de plaques ne demandaient pas d'élaborer les trames de calculs, le seul objectif était d'automatiser les formules données par les ouvrages scientifiques. Le logiciel regroupe une grande partie des situations envisageables et fonctionne correctement, reste à valider pour les cas de charge triangulaire.

On peut donc approuver le résultat final et mettre à disposition les logiciels aux calculateurs, cependant dans les premiers temps ils devront garder un esprit critique des résultats en cas d'anomalie.

Les résultats de conception présentés dans ce mémoire permettent de dégager des perspectives immédiates et plus lointaines :

- Conception d'un logiciel « panne » sans limite : l'utilisation du théorème des trois moments pour des poutres continues peut résoudre en partie le problème en délaissant la méthode des coefficients. Il permet d'étudier des poutres continues à travées variables, cependant l'attention que j'y ai portée ne permettait pas une automatisation des calculs.
- Conception d'un logiciel « plaques métalliques annulaires », avec la possibilité de regrouper dans le même logiciel les plaques métalliques circulaires. Les plaques annulaires ne sont pas décrites dans le mémoire, néanmoins j'ai abordé le problème et laissé une esquisse des travaux faits à l'entreprise qui pourra être continuée par la suite.

Au terme du stage, le projet n'ayant pas de limite fixe, il est difficile de juger de l'état actuel du projet dans le temps. L'ensemble des logiciels abordés a été finalisé, de plus la conception d'un nouveau logiciel de calculs de plaques annulaires touche à sa fin. La majorité des cas de calculs sont validés, quelques petites erreurs de constantes peuvent résider dans les logiciels de plaques, néanmoins un document de contrôle est établi et partiellement rempli pour les cas de vérification possible à l'aide de RDM 6 le Mans. On peut donc être satisfait du travail effectué jusqu'à ce jour, le seul point négatif réside dans le logiciel « panne ». En effet, je reste quelque peu déçu de ne pas avoir atteint l'objectif fixé (concevoir un logiciel sans limite), cependant l'enseignement de RDM suivi jusqu'à ce jour ne me permettait pas de résoudre le problème. Malgré cela, le logiciel conçu avec les limites que je me suis fixées reste utilisable dans de nombreux cas classiques, reste à vérifier l'exactitude des résultats à l'aide d'un logiciel numérique adapté. A noter que j'ai quand même sollicité l'ESTIA à plusieurs reprises (fiche de liaison, e-mail à Mme Chapotot, Mr Fischer « x » fois) pour obtenir des notes de cours de résistance de matériaux qui seront dispensés dans les prochains mois, les quelques réponses qui m'ont été retournées comportaient comme conseils de consulter Mr Fischer, ce dernier m'a donné ni conseil, ni document pour cause de déplacement à l'étranger. Il était quand même mentionné sur la convention de stage : « Le stagiaire pourra bénéficier, en cas de besoin, du soutien des enseignants et ingénieurs de l'ESTIA », il est regrettable que l'encadrement de l'ESTIA ne s'investisse pas dans la suivi des stagiaires (pas de tuteur pédagogique qui vient rendre visite au stagiaire pendant son stage). Mis à part ce désagrément, l'ensemble du stage c'est déroulé dans de parfaites conditions.

Pour ma seconde immersion dans un bureau d'études, j'ai eu l'occasion de confirmer le fonctionnement d'un tel département mais dans un secteur d'activité différent. Lors de ma mission de fin d'études de DUT GMP, le calcul de structure n'était qu'une part de mon projet de conception mécanique, néanmoins l'enseignement suivi et l'expérience professionnelle acquise m'avaient donné l'envie de découvrir ce domaine à part entière.

Dans un premier temps, le stage a été l'occasion d'avoir une autre vision du calcul de structure, de part le domaine d'intervention du bureau d'études : le bâtiment, mais aussi de par son aspect théorique et fondamental. J'ai eu l'opportunité de revoir des théories de calculs de résistance de matériaux, mais aussi de découvrir le dimensionnement de pièces nouvelles. Ce placement en entreprise est donc venu approuver mon désir d'opter dès l'année prochaine pour l'option Conception Généralisée de Produits, dans l'objectif de suivre un enseignement plus proche de la mécanique. Maintenant que j'ai découvert le calcul de structures théoriques, j'ai à cœur d'effectuer mon prochain stage dans un bureau d'études pour effectuer du calcul assisté par ordinateur qui permettra de mettre en œuvre l'enseignement suivi à l'ESTIA, mais aussi de confirmer mon désir de devenir ingénieur calculateur.

Dans un second temps, j'ai pu me rendre compte qu'il est en particulier impossible de devenir ingénieur calculateur sans avoir d'excellentes connaissances en mathématiques et mécaniques, mais aussi qu'il est difficile pour l'école d'enseigner toutes les méthodes de calculs utilisées en entreprise. C'est pourquoi, un cursus d'ingénieur par alternance permettrait l'union entre l'acquisition des compétences scientifiques et la sélection des méthodes utilisées en entreprise. Dans les prochaines semaines je mettrai donc en place une démarche de recherche d'entreprise pour répondre à mon désir d'intégrer la voie de l'apprentissage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Commission des règles de calculs et de conception des charpentes en bois, “Règles de calculs et de conception des charpentes en bois, règles C.B.71 JUIN 84”, sixième édition, septième tirage 2008, EYROLLES, ISBN : 978-2-212-10080-8.
- [2] Commission de normalisation AFNOR, “Bois de structure et produits à base de bois – Classe de résistance et contraintes admissibles associées”, NF P 21-400 Mai 2003 P 21-400.
- [3] Syndicat National des Constructeurs de Charpentes en Bois Lamellé-Collé, “Charpente en bois lamellé-collé. Guide pratique de conception et de mise en œuvre”, cinquième édition, troisième tirage 2000, EYROLLES, ISBN : 2-212-10424-3.
- [4] Raymond J. ROARK, Warren C. YOUNG, “Formulas for Stress and Strain”, fifth edition, MCGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, Engineering Mechanics Series, ISBN: 0-07-Y85983-3.
- [5] Jean Goulet, Jean-Pierre Boutin, “Aide-mémoire, Résistance des matériaux ”, 8^{ème} édition, DUNOD, ISBN : 2-10-048861-9.

NOM : PINQUIE Prénom : Romain Date : 08/03/2010	Entreprise : ECTA 35, Rue de Bielle 64121 SERRES CASTET	Cadre réservé à l'administration : N° :
		Début : 01 février 2010 Fin : 26 février 2010
Responsable Entreprise : Mr. Christophe PAINGAUD		Responsable Ecole: Mr. Olivier PATROUX
OBJET DE L'ETUDE : Développement de logiciels de calculs (structures Bois & Métal). Calculs de structures.		
RESUME : <p>La société ECTA est à la base un bureau d'études de charpente métallique. Néanmoins, de part la situation économique et écologique du monde actuel, ses dirigeants ont décidé d'élargir leur domaine de compétences à la charpente bois.</p> <p>Ma mission au sein de la société était donc de développer deux logiciels de calculs de résistance des matériaux pour deux pièces de construction bois. En effet dans la conception d'une charpente en bois deux éléments reviennent de façon récurrente : les solives et les pannes. Cependant pour faciliter l'utilisation des programmes, leur présentation et leur manipulation doivent rester très primaire. Afin de compléter ma mission au sein de l'entreprise, j'ai eu l'opportunité de découvrir le calcul de plaques métalliques et d'en automatiser une grande majorité.</p> <p>Ce stage m'a fait découvrir différents aspects du travail d'un technicien au sein d'un bureau d'études :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Découverte des règles de calculs et de conception des charpentes en bois (CB71) - Calculs de plaques métalliques - Recherche et développement de solutions - Programmation sous Visual Basic - Mise en pratique des connaissances théoriques 		
MOTS CLES : Règles CB.71 ; Résistance des matériaux ; Solive ; Panne ; Bois ; Plaques métalliques ; Visual Basic.		