



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique



Université Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU

Faculté du Génie de la Construction  
Département de Génie Civil

## MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE

Spécialité : Génie Civil  
Option : Structures et matériaux

Sujet :

***ETUDE DU GLISSEMENT A L'INTERFACE D'UN PLANCHER MIXTE  
BOIS-BETON***

Promoteur :

**Dr : H. AIT AIDER**

Présenté par:

**Mr : FERRI nacim**

**-Promotion 2011/2012-**

## *Remerciements*

*Tout d'abord je remercie avant tous, Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, et la volonté pour atteindre mon objectif.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon promoteur le Docteur AIT AIDER HACENE, pour sa disponibilité permanente, ses orientations, son savoir, sa modestie, et son soutien durant toute la période de réalisation de ce travail et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens possibles pour travailler dans les meilleures conditions.*

*Je voudrais aussi remercier vivement Mr MEGHELAT MEHDI, Mlle BAHIA que Mr AMAR ALICHE pour leurs encouragements, leurs gentillesse, leurs aides durant la période de réalisation de ce modeste travail.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.*

## DEDICACES

*Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur, ma mère, mon père, mes frères, ma grande mère et surtout à mon neveu AREZKI, car c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver à ce stade ; je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi.*

*A ma famille.*

*A mes amis.*

*A mes collègues.*

*A tous ceux qui me sont chères.*

## RESUME

Les planchers mixte Bois-Béton est une nouvelle technique introduite dans les constructions de Génie Civil, ils nous apportent plusieurs avantages en construction anciennes ou dans les constructions neuves. Mais le souci se trouve dans le système connexion des deux matériaux différents et pour cela, plusieurs études faites pour améliorer la connexion entre les deux matériaux composant ce plancher mixte afin de définir un modèle fiable.

Dans notre travail on étudiera un système de connexion qui est les "connecteurs" et on les vérifiera selon règles de l'Eurocode5 et comparer les résultats théoriques et celles de numériques.

L'objectif de cette étude nous permet d'avoir un aperçu général sur l'influence du système de connexion sur le glissement d'assemblage en faisant varier les actions variables afin d'établir une courbe contrainte-glissement dans le but de définir le comportement de l'interface.

### **Mots clés :**

Bois, Béton, connecteur et glissement.

## **ABSTRACT**

The wood-concrete mixed floors is a new technique introduced in Civil engineering constructions, they bring to us several advantages in old constructions or in the new building. But the problem is in the connection system of the two different materials for this reason; many studies are made to improve connection between two materials composing the mixed floor in order to define a reliable model.

In our work, we will study a system of connection which is the "connectors" and we will check them according to the rules of Eurocode5 and to compare the theoretical results and that the numerical that's.

The objective for this study allows us to have a general idea on the influence of the connection system on the assembly glide by varying the variable actions in order to establish a curve connecting the constraint and the glide of the interface.

### **Key words:**

Wood, Concrete, connector and glide.

## LISTE DES FIGURES

### **CHAPITRE I :**

Fig. I.1 : Aperçue d'un plancher mixte bois-béton.

Fig. I.2 : Pont sur la Resgia en suisse.

Fig. I.3 : renforcement d'une structure par un plancher mixte.

Fig. I.4 : Réhabilitation 570 logements à Gonesse.

Fig. I.5 : Aperçue d'un plancher mixte pour une construction neuve.

Fig. I.6 : Le Cheylas 46 logements locatifs mixtes Bois/béton.

Fig. I.7 : Brevet d'invention e de Deperraz et Martino.

Fig. I.8 : Brevet d'invention de Molard.

Fig. I.9 : Dalle mixte bois-béton nommée D-Dalle.

Fig. I.10 : Clous et vis de grande résistance testés par Ahmadi.

Fig. I.10 : Brevet d'invention de Trygve et de Kuttel.

Fig. I.11 : Connecteurs testés par Benitez et par Steinberg.

Fig. I.12 : Brevet d'invention de Alain.

Fig. I.13 : Brevet d'invention de Raymond et de Welch.

Fig. I.14 : Brevet d'invention de Aitcin et de Bathon.

### **CHAPITRE II :**

Fig. II.1 : Chargement et déchargement. (Déformation réactive de retour).

Fig. II.2 : Comparaison des matériaux bois, acier et béton armé.

Fig. II.3 : Structure générale d'un tronc d'arbre.

Fig. II.4 : Directions principales dans une pièce de bois. (R: radiale; T: tangentielle; L : longitudinale).

Fig. II.5 : Courbe contrainte-déformation du matériau bois.

Fig. II.6 - Protection du bois.

Fig. II.7 : Connecteurs SFS VB-48-7,5x100 mm.

Fig. II.8 : Mise en œuvre des connecteurs SFS-VB.

Fig. II.10 : description des connecteur 'Base' de Tecnaria, 50\*50\*4 vis  $\phi$  8mm.

Fig. II.9 : écartement minimal des connecteurs en (mm).

Fig. II.11 : description des connecteur 'Maxi' de Tecnaria, 75\*50\*4 vis  $\phi$  10mm.

Fig. II.12 : Mise en œuvre des connecteurs Tecnaria.

Fig. II.13 : Description des différents types connecteurs SBB.

Fig. II.14 : Mise en œuvre des connecteurs SBB.

Fig. II.15 : connecteurs une fois fixés à la dalle.

Fig. II.16 : Détail des percements dans le connecteur pour permettre d'enclaver. le béton dans la dalle bois.

### **CHAPITRE III :**

Fig. III.1 : Plancher mixte (vue en plan).

Fig. III.2 : Plancher mixte vue en 3D.

Fig. III.3 section transversale d'un plancher mixte.

Fig. III.4 : distribution des contraintes dans un plancher mixte bois-béton.

Fig. III.5 : Diagramme des contraintes d'une section homogénéisée.

Fig. III.6 : courbe des Contraintes-Glisement a l'interface de la section mixte.

Fig. III.7 : courbe des Contraintes-Glisement numérique à l'interface de la section mixte.

Fig. III.8 : superposition des deux courbes des Contraintes-Glisement.

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **CHAPITRE I :**

Tab.I.1 Clous testés par Gutkowski

### **CHAPITRE II :**

Tab.II.1 : EN 338 : Bois de structure - Classes de résistance.

Tab.II.3 : Effets de la densité sur les propriétés mécaniques du bois.

Tab.II.2: Propriétés caractéristiques des bois lamellés collés définies par NF EN 1194, pour calculs avec EC5.

Tab.II.5 : PH des essences résineuses et feuillues.

Tab.II.4: Définition des classes de risque d'attaque biologique (NF EN 335) .

Tab.II.6: valeurs caractéristique des connecteurs selon leur disposition.

Tab.II.7 : valeurs pour un calcul selon eurocode5 .1.1 .

Tab.II.8 : La gamme SBB® est composée de 4 types de connecteurs.

### **CHAPITRE III :**

Tab.III.1 : valeurs caractéristiques des éléments composant le plancher.

Tab.III.2 : Résultats des efforts internes selon l'EC5.1.1.

Tab.III.3 : vérification des contraintes à court terme.

Tab.III.4 : vérification des contraintes à long terme.

Tab.III.5 : Valeurs de calcul et de la vérification l'effort tranchant et effort de cisaillement.

Tab.III.6 : Valeurs de l'effort de cisaillement revenant au connecteur.

Tab.III.7 :Valeurs des contraintes de la section homogénéisée.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>3</b>
I.1 PRINCIPE DES STRUCTURES MIXTE BOIS-BETON : .....	3
I.2 DOMAINE D'APPLICATION DES PLANCHERS MIXTES : .....	3
I.2.1 en ouvrage d'art : .....	4
I.2.2 en bâtiment : .....	4
I.3 SYSTEME DE CONNEXION DES PLANCHERS MIXTE BOIS-BETON : .....	7
I.3.1 Connexion par compression locale du bois : .....	8
I.3.2 Connexion par des entailles : .....	8
I.3.3 Connexion par des pointes, des vis, des goujons : .....	9
I.3.4 Connexion par des crampons : .....	11
I.3.5 Connexion par des tubes : .....	12
I.3.6 Connexion par adhérence des surfaces : .....	13
I.3.7 Connexion par collage : .....	14
<b>CHAPITRE II : SYNTHESE TECHNIQUE .....</b>	<b>15</b>
<b>Les matériaux : .....</b>	<b>15</b>
II.1. Béton : .....	15
II.1.1 Propriétés mécaniques : .....	15
II.1.2 Propriétés physiques :.....	17
II.1.3 Propriétés acoustiques :.....	19
II.1.4 Durabilité, protection, entretien :.....	19
II.2 Bois : .....	19
II.2.1 Anisotropie du bois : .....	20
II.2.2 La structure hygroscopique : .....	21
II.2.3 Classement du bois : .....	22
II.2.4 Propriétés mécaniques du bois : .....	25
II.2.5 Propriétés physiques : .....	28
II.2.6 Propriétés acoustiques :.....	28
II.2.7 Entretien : .....	31
II.3 LES CONNECTEURS : .....	31
II.3.1 Définition : .....	31
II.3.2 Importance de ces connecteurs : .....	32
II.3.3 Différents types de connecteurs : .....	32
A Connecteurs SFS-VB : .....	32
B Connecteurs TECNARIA : .....	34
C Connecteurs SBB : .....	36
D Connecteur D-Dalle : .....	39
<b>CHAPITRE III : VERIFICATION DU SYSTEME DE CONNEXION DU PLANCHER MIXTE BOIS-BETON ....</b>	<b>40</b>
III.1 INTRODUCTION : .....	40
III.2 PRESENTATION GENERALE DE L'EUROCODE5 : .....	40
III.3 EXIGENCES FONDAMENTALES : .....	41
III.4 PRESENTATION GLOBALE DU PLANCHER MIXTE : .....	42

III.4.2 PRESENTATION DES DIFFERENTES CARACTERIQUES DES COMPOSANTS DU PLANCHER MIXTE BOIS-BETON : .....	43
III.5 Vérification du système de connexion vis-à-vis le glissement : .....	44
III.5.1 Hypothèse de calcul : .....	44
III.5.2 Les déformations dues aux moments de flexion : .....	45
III. 5.3 Homogénéisation de la poutre Bois-Béton : .....	55
III.5.4 Etude comparative entre la courbe obtenue par la simulation numérique "Abaqus" et la courbe obtenue par l'Eurocode5.1.1 : .....	59
Conclusion : .....	61
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>62</b>

# ***INTRODUCTION GENERALE***

## **INTRODUCTION GENERALE :**

### **1.1 HISTORIQUE :**

Depuis l'apparition des structure mixte bois-béton qui sont réalisées d'une manière classique (assemblage mal connecté) qui a pose des problèmes de linéarité c'est-à-dire, indépendance de déformation des matériaux l'un par rapport à l'autre

A partir de 1922 un système de connexion a été élaboré un système des clous positionnes entre la dalle de compression et des éléments en bois(Müller)

Puis, les structures mixtes bois-béton se sont développées entre les deux guerres mondiales, lorsque le monde de la construction a souffert d'un manque d'acier, nécessaire au renforcement du béton.

Les premières constructions apparaissent dans les années 40. Mais Pincus (1969,1970) précise que l'utilisation de poutres mixtes bois-béton a été suggérée par Seiler pour la première fois en 1933. Il fut d'ailleurs l'auteur d'un ouvrage sur l'utilisation de résine époxy permettant d'assurer la connexion entre les deux matériaux. Les essais de flexion réalisés ont révélé que la destruction du système apparaissait par ruine du béton au cisaillement ou du bois en traction mais pas par ruine de la résine. Pincus soulève également les problèmes de comportement du système au long terme, de l'humidité de mise en œuvre du bois et des charges accidentelles (impact).

Depuis, les systèmes mixtes ont fait l'objet d'études, de thèses et de nombreux essais. On parle de 10000m<sup>2</sup> de planchers bois, rénovés à l'aide de cette technique en république socialiste tchécoslovaque dès les années 60, mais également de ponts mixtes construits en Nouvelle Zélande et aux Etats Unis à partir des années 70.

Nous réfléchissons à des conceptions nouvelles de constructions mixtes comportant du bois, conceptions fondées sur l'association entre des matériaux différents. Une combinaison raisonnable des matériaux dans une structure est en effet une voie de développement qui permet d'optimiser leur utilisation. La structure mixte bois-béton exhibe des propriétés structurales qui ne sont pas atteintes par l'utilisation seule du bois ou du béton. Le béton, qui a une faible résistance en traction, est utilisé en compression et le bois est utilisé

en traction. Cependant, dans le concept de structures mixtes, la connexion à l'interface reste toujours un point sensible au niveau du dimensionnement ainsi qu'au niveau de la technique de connexion.

## **1.2 DEFINITION :**

Un plancher mixte est constitué d'une dalle de compression à faible épaisseur en béton liée mécaniquement par des organes de connexion (connecteurs) à des poutres en bois.

## **1.3 INTERET DES PLANCHERS MIXTES :**

Dans les deux cas précédents, il est possible d'ajouter à la structure existante, c'est-à-dire les poutres en bois, une dalle mince en béton coulée en place, correctement armée et connectée, qui permettra d'augmenter la résistance et la rigidité des planchers anciens, ou d'employer des poutres de section inférieure sur des planchers neufs. La dalle en béton représente une solution technique optimale pour les bâtiments en maçonnerie dans les régions sismiques, car cette dalle représente un diaphragme infiniment rigide qui permet de raccorder entre eux les murs porteurs avec un plan rigide assurant une meilleure répartition des actions sismiques horizontales. L'alliance entre le bois et le béton possède une grande force, grâce au bois l'aspect esthétique d'un plancher bois est conservé et le béton apporte sa grande résistance à la compression ce qui permet une rigidité importante et une déformée limitée. En outre, la mise en œuvre d'un plancher mixte est une action qui :

- valorise les ressources forestières ;
- limite les émissions de CO<sub>2</sub> ;
- incite à l'usage du bois en construction neuve.

## **1.4 OBJECTIF DE LA THESE :**

Ce composite nécessite une liaison plus au moins parfaite des 2 matériaux.

L'objectif de la thèse est de déterminer un système de connexion le plus performant possible vis-à-vis des états limites de service et des états limites ultimes en utilisant une simulation numérique.

## **1.5 ORGANISATION DE LA THESE :**

Le premier chapitre de la thèse est consacré pour présenter la typologie des structure comportâtes des planchers mixte Bois-Béton ainsi que leurs système de connexion.

Le deuxième chapitre présente les différentes caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux qui forment un plancher mixte Bois-Béton.

Dans le troisième chapitre on verra le système de connexion utilisé dans la thèse ainsi sa vérification selon les règles de l'Eurocode5.1.1, ensuite on fera une comparaison entre le modèle théorique et le numérique.

# ***CHAPITRE I :***

## ***SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE***

## CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Nous allons présenter dans ce chapitre la synthèse des connexions existant, l'évaluation de leur performance sur les structures mixtes bois-béton des différents matériaux utilisés pour la conception dans ce type de construction.

### I.1 PRINCIPE DES STRUCTURES MIXTE BOIS-BETON :

Le principe de collaboration entre un solivage bois et une dalle béton consiste à faire travailler, grâce à la mise en œuvre des connecteurs, le béton en compression et le bois en traction, en utilisant ainsi au mieux les propriétés des deux matériaux. Cette technique, particulièrement indiqué dans le cadre des réhabilitations des structures anciennes, permet ainsi d'augmenter notablement la rigidité et la résistance des planchers en bois-Béton.

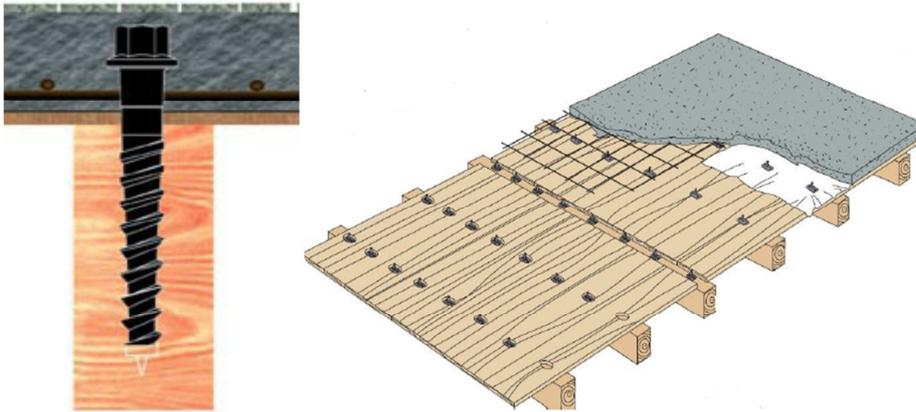


Fig. I .1 : Aperçue d'un plancher mixte bois-béton

### I.2 DOMAINE D'APPLICATION DES PLANCHERS MIXTES :

Les planchers mixtes trouvent une application privilège en Génie Civil soit en ouvrage d'art ou bien en bâtiment notamment en réhabilitation ou construction neuve.

## I.2.1 en ouvrage d'art :

### *A. Ponts mixtes bois-béton :*

Le principe des ponts mixtes bois-béton est le même que pour les ponts mixtes acier-béton. La dalle béton participe à la reprise des efforts, principalement en compression. La gamme de portée ces ouvrages est de 20 à 80m. Les longues portées peuvent être atteintes avec des ponts en arc dont le tablier repose sur des appuis intermédiaires (pilettes, suspentes, etc.) tous les 5 à 10m. Un exemple est le pont sur la Resgia à Inneferrera en Suisse construit en 1998 (Fig. I.2).



Fig. I.2 : Pont sur la Resgia en suisse.

## I.2.2 en bâtiment :

### *A. en réhabilitation :*

Ce type de plancher est très utilisé dans la réhabilitation de structures anciennes, du fait de la possibilité d'augmenter notablement la rigidité et la résistance des planchers bois. Cette augmentation est obtenue par la mise en œuvre d'une dalle de béton de 8 à 10 cm de hauteur et de connecteurs qui rigidifient la structure et permettent une bonne isolation acoustique. Lors d'une réhabilitation d'un plancher en bois, il est nécessaire de faire des interventions de renforcement et de raidissement, car ils ont été réalisés pour

supporter de faibles charges. Souvent, les anciens planchers en bois présentent une déformée plus importante que la réglementation préconise aujourd'hui. En rénovations, après stricte vérification des murs et fondations, le plancher mixte permet de :

- conserver la structure bois apparente en sous face de plancher ;
- renforcer les planchers et le solivage en place ;
- de reprendre plus de charges que le plancher originel qui n'est pas adapté au besoin actuel ;
- cacher les gaines et tuyauterie dans la dalle ;
- poser un carrelage dans les pièces d'eau.



Fig. I. 3 : renforcement d'une structure par un plancher mixte.



Fig.I.4 : Réhabilitation 570 logements à Gonesse.

***B. en construction neuve :***

Les planchers mixtes neufs a pour objet essentiel de réduire le poids de la structure et d'augmenter la capacité portante. D'un autre coté des planchers neufs, pour satisfaire la réglementation en vigueur, il est nécessaire d'utiliser des. Poutres avec des sections importantes pour que le plancher soit assez résistant et rigide. Dans un souci de cout et d'esthétisme, il peut être judicieux d'avoir recours au plancher mixte bois-béton. Compare à une dalle en béton armé, le plancher collaborant permet de réduire :

- la charge d'un bâtiment ;
- l'épaisseur des séparations horizontales ;
- les ponts thermiques.



Fig. I .5 : Aperçue d'un plancher mixte pour une construction neuve.



Fig. I.6 : Le Cheylas 46 logements locatifs mixtes Bois/béton

### **I.3 SYSTEME DE CONNEXION DES PLANCHERS MIXTE BOIS-BETON :**

La connexion de la structure mixte bois-béton est assurée par des éléments qui sont dénommés les connecteurs. Les connecteurs transmettent les efforts de cisaillement entre les deux matériaux pour assurer un comportement monolithique. L'état de l'interface pilote le taux d'augmentation de la résistance et de la rigidité. Si le bois et le béton travaillent d'une manière monolithique, la structure atteint la rigidité optimale. Un système de connexion est constitué soit par des tenons en béton enfoncé dans le bois, soit par des éléments mécaniques comme des clous, des plaques métalliques, des tubes métalliques emmanchés dans le bois, soit par le collage. On peut classer les systèmes de connexion existants en 2 grandes familles :

- Les systèmes fonctionnant prioritairement par compression locale du bois ;
- Les systèmes fonctionnant prioritairement par cisaillement surfacique du bois.

### I.3.1 Connexion par compression locale du bois :

Les systèmes de connexion par compression locale du bois sont des éléments qui permettent de transmettre le cisaillement entre le bois et le béton par la compression de ces éléments sur le bois.

### I.3.2 Connexion par des entailles :

On usine des rainures dans le bois, rainures qui sont remplies de béton lors du coulage pour former des tenons dans le bois. Martino [Martino, 2005] a renforcé les rainures de section trapézoïdale dans le bois par des éléments en acier de même section (Fig.7). Deperraz [Deperraz, 1998] réalise des entailles de sections variables dans lesquelles différents profils sont convenablement disposés et orientés par rapport au signe de l'effort de cisaillement.

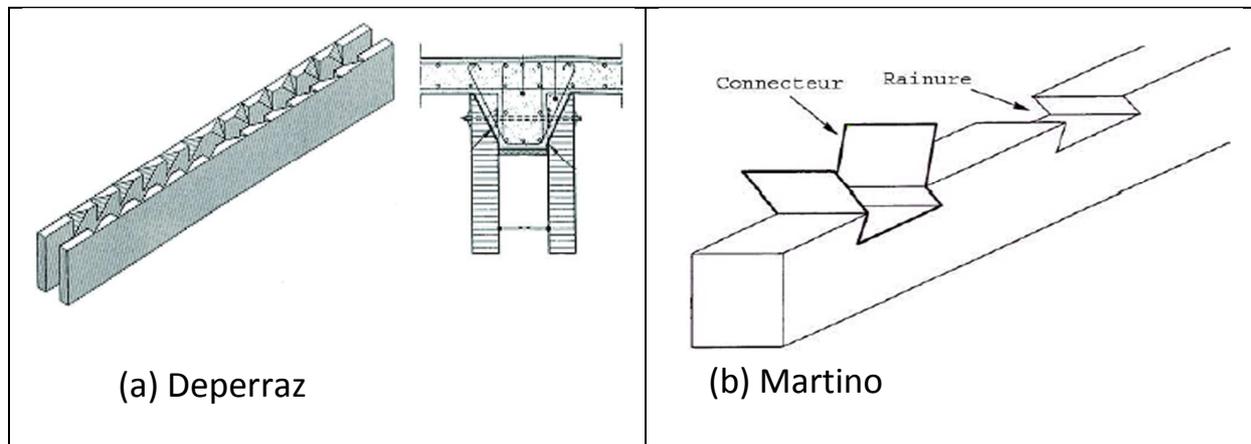
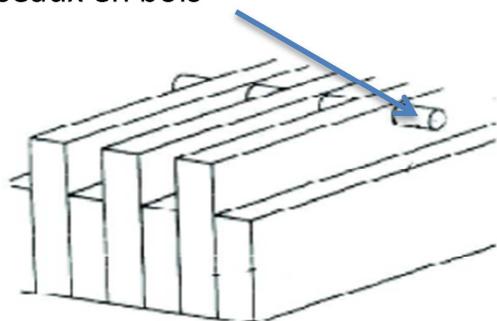


Fig. I.7 : Brevet d'invention de Deperraz et Martino

Une autre technique de connexion par des entailles est présentée dans le brevet de Molard [Molard *et al.* 1998]. La partie bois se compose de lattes assemblées entre elles par clouage ou collage de manière à ce que certaines lattes soient saillantes pour la création des rainures longitudinales. De plus, des connecteurs tels que de tasseaux en bois ou des cornières sont disposés transversalement pour l'accrochage du béton sur la surface du bois. Cela permet aussi de rigidité l'ensemble de la structure au cours de la manipulation en atelier et du transport (Fig.8).

Tasseaux en bois



cornières

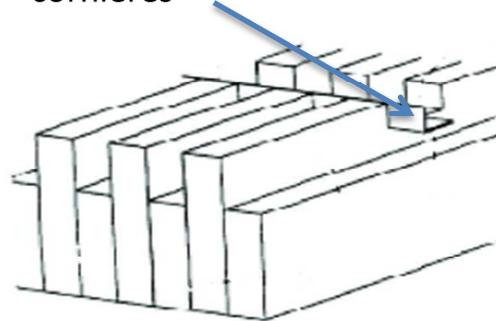


Fig. I.8 : Brevet d'invention de Molard

Avec le même principe, le groupe CBS-CBT a développé une dalle bois-béton dit D-Dalle (Fig. I.9). Avec cette section, la poutre peut atteindre une portée de 11m à 18m.



Fig. I.9 : Dalle mixte bois-béton nommée D-Dalle.

### I.3.3 Connexion par des pointes, des vis, des goujons :

Avec le même principe que la connexion par entailles, les éléments en acier sont utilisés pour former des tenons ou des dents qui sont cloués, vissés, ou collés dans le bois et noyés dans le béton. Les pointes, les vis et les goujons sont utilisés dans les brevets de [Tadeusz *et al.*, 1981], [Heinz, 2000] et [Natale, 2000].

Dix types de clous et de vis de grande résistance ont été testés par Ahmadi [Ahmadi *et al.*, 1993], lequel a fait varier la profondeur de pénétration du connecteur dans le bois dans la gamme  $8d$ ,  $11d$  et  $15d$ , où "d" est le diamètre des clous et vis (Fig. 10). Les essais de cisaillement montrent que la résistance des connecteurs augmente avec la profondeur de pénétration des clous jusqu'à la valeur de  $11d$  pour se stabiliser ensuite. La partie linéaire de la courbe force-glisserment disparaît quand le glissement atteint la valeur de  $0,38mm$ . La force

correspondante est prise comme la valeur admissible du connecteur. Les essais en flexion montrent une augmentation de 55% de la résistance en flexion et une diminution de la flèche de 230% par rapport à l'essai en flexion sans connexion.

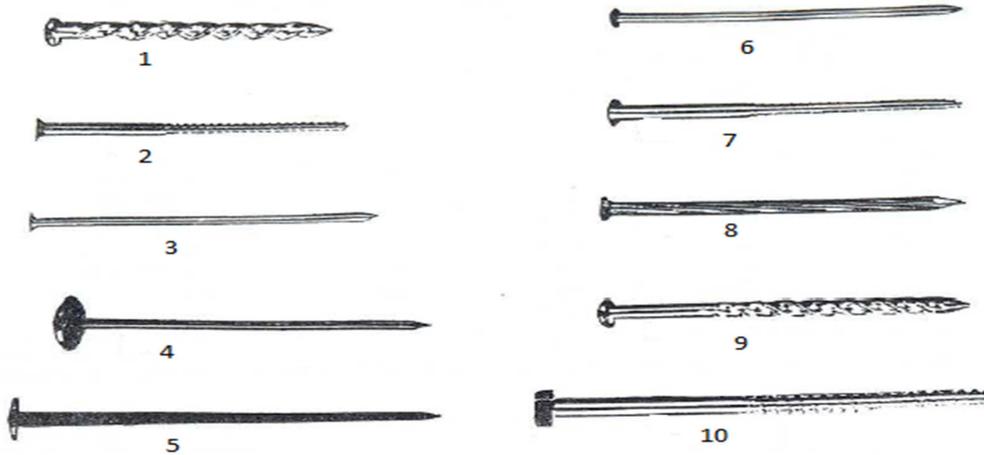


Fig. I.10 : Clous et vis de grande résistance testés par Ahmadi

Des clous de différents diamètres avec différentes profondeurs de pénétration dans les matériaux ont aussi testés par Gutkowski [Gutkowski *et al.*, 1996]. 72 échantillons ont été testés, comprenant 4 diamètres différents et 2 valeurs de pénétration pour chaque diamètre (Tab. I.1). Les essais en cisaillement montrent que la rigidité est principalement pilotée par la résistance du béton (reliée à son âge) tandis que la charge ultime est, elle, gouvernée par le type de connecteur (relie a son diamètre et à sa profondeur d'enfoncement dans le bois).

numéro	Type de connecteur		Profondeur dans le bois (mm)	Profondeur dans le bois (mm)
	Longueurs (mm)	Diamètres (mm)		
1	88.2	3.5	44.1	44.1
2	88.2	3.5	63	25.2
3	51	2.9	25.2	25.8
4	51	2.9	37.8	13.2
5	102	3.8	56.7	45.3
6	102	3.8	75.6	26.4
7	76.5	3.3	37.8	38.7
8	76.5	3.3	50.4	26.1

Tab. I.1 Clous testés par Gutkowski

Trygve [T.Trygve, 1982] et Kuttel [Kuttel, 1998] proposent d'autres types de connecteurs dans leurs brevets d'invention (Fig. 10). Les vis sont utilisées pour fixer au bois la partie du connecteur noyée dans le béton au bois par l'intermédiaire d'une plaque de répartition. La rigidité supplémentaire apportée par cette plaque et l'amélioration de l'ancrage apportée par le nombre de vis conduit à une augmentation de la résistance de la liaison.

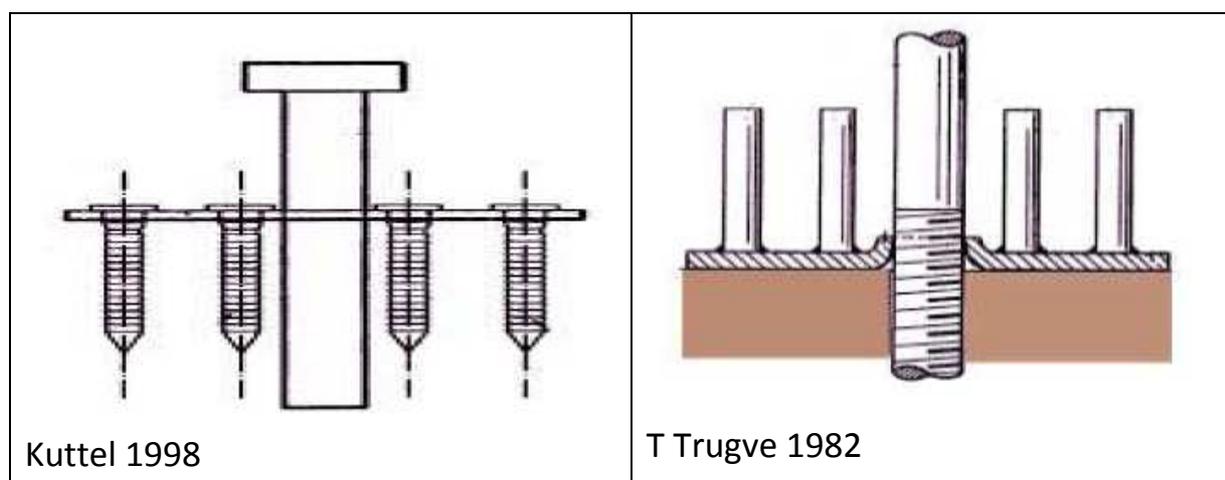


Fig. I.10 : Brevet d'invention de Trygve et de Kuttel.

### I.3.4 Connexion par des crampons :

Benitez [Benitez, 2000] a testé trois connecteurs de ce type (Fig. I.11b). Il trouve une augmentation d'un facteur 3 de la résistance par rapport aux vis isolées. Cinq connecteurs de ce type ont aussi été proposés et testés par Steinberg [Steinberg *et al.*, 2003] (Fig. I.11.a). La rigidité initiale, la limite du comportement élastique et la charge à la rupture sont comparées. Les clous, les vis, les goujons présentent une facilité d'exécution, et sont "bon marché". Ils présentent l'inconvénient d'être assez flexibles, ce qui entraîne une diminution de la raideur de la connexion.

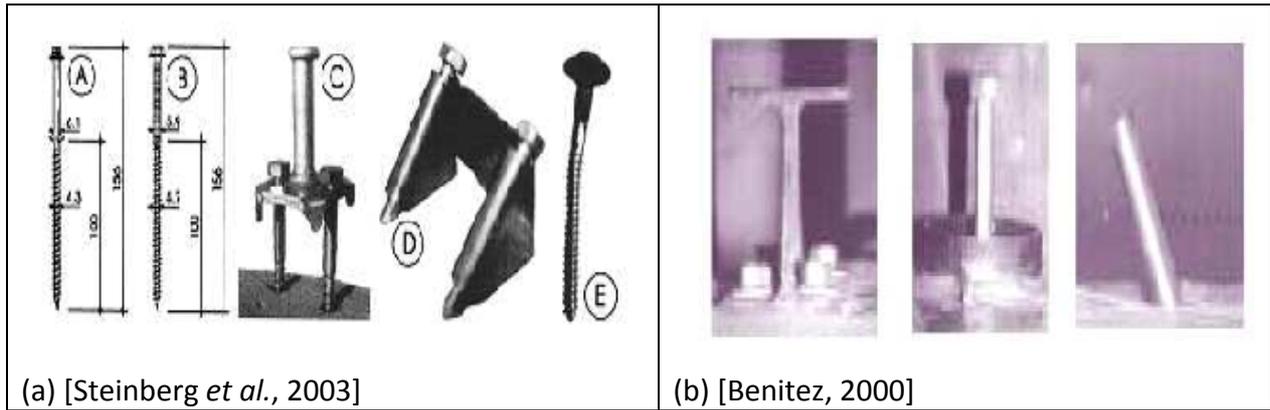


Fig. I.11 : Connecteurs testés par Benitez et par Steinberg

### I.3.5 Connexion par des tubes :

La connexion par des clous ou des vis présente l'inconvénient que leur flexibilité entraîne une diminution de la raideur. Plusieurs auteurs de brevets proposent d'utiliser des tubes métalliques à section circulaire pour augmenter la résistance et aussi la rigidité du système de connexion.

La rainure circulaire est creusée en laissant subsister un noyau du bois et le tube métallique y est emmanché [Alain, 1988]. Le diamètre du tube est suffisant pour le remplissage du béton dans la partie supérieure lors du coulage en formant un renforcement de connecteur (Fig. 1.12). Ce type de connecteur possède une grande rigidité et une grande résistance par rapport à des clous et des vis.

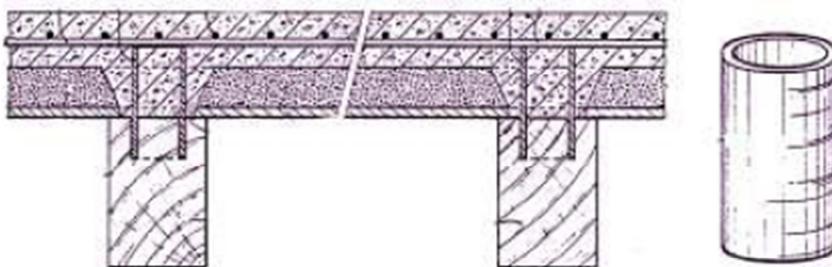


Fig. I.12 : Brevet d'invention de Alain.

En changeant la section du tube, Raymond a amélioré la résistance d'arrachement du connecteur dans le béton et aussi dans le bois [Raymond, 1995]. La partie implantée dans le bois est collée au moyen d'une résine et l'autre partie noyée dans le béton, est reliée à la précédente par une partie intermédiaire. Les trois parties sont étudiées pour obtenir une bonne résistance à l'arrachement du connecteur dans le bois ou dans le béton. La partie intermédiaire peut se déformer pour autoriser un glissement relatif

entre le bois et le béton, ce qui évite une rupture fragile de la structure en cas de surcharge (Fig. 1.13 (a)). Pour améliorer la ductilité de la structure, Welch [Welch, 2005] a proposé un connecteur qui permet un glissement relatif entre le bois et le béton grâce à la réalisation d'une fente sur les cylindres creux (Fig.1.13 (b)).

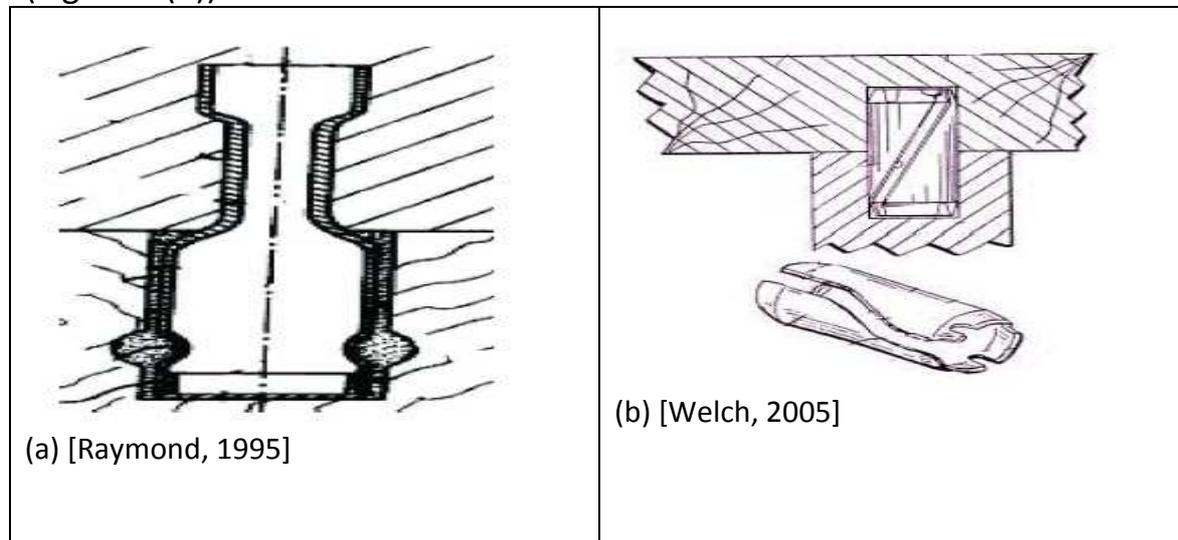


Fig. I.13 : Brevet d'invention de Raymond et de Welch

### I.3.6 Connexion par adhérence des surfaces :

#### *Adhérence créée par des plaques métalliques :*

Les systèmes de connexion d'écrits précédemment sont des connecteurs locaux disposés d'une manière discontinue. L'augmentation de résistance en cisaillement à l'interface est obtenue en ajoutant des connecteurs supplémentaires, mais celle-ci est limitée par la surface entre le bois et le béton. La présence des connecteurs locaux mentionnés sur la surface du bois risquent d'entraîner la rupture du bois. Pour une répartition plus uniforme et pour tenter d'augmenter la résistance en cisaillement à l'interface, des systèmes de connexion par adhérence ou autrement dit des systèmes de connexion continus sont proposés par Aitcin [Aitcin, 1998] et Bathon [Bathon *et al.*, 2005]. Dans le brevet de Aitcin [Aitcin, 1998], l'adhérence entre le bois et le béton est assurée par un filet en métal expansé fixé sur la surface du bois avant le coulage du béton. Le béton traverse les mailles du filet pour adhérer à la surface du bois, le filet sert à l'ancrage du béton sur le bois (Fig.13 a)).

Le système de connexion de Bathon [Bathon *et al.*, 2005] a reçu le code d'approbation pour une utilisation en Europe. Le connecteur est une grille

métallique dont une partie est collée dans le bois et une autre noyée dans le béton. La grille est modifiée selon la direction longitudinale de la poutre, la partie noyée dans le béton étant pliée pour augmenter la capacité du connecteur (Fig.1.14.b). Le cisaillement est transmis du béton au bois par l'intermédiaire de l'adhérence entre la grille métallique et le bois.

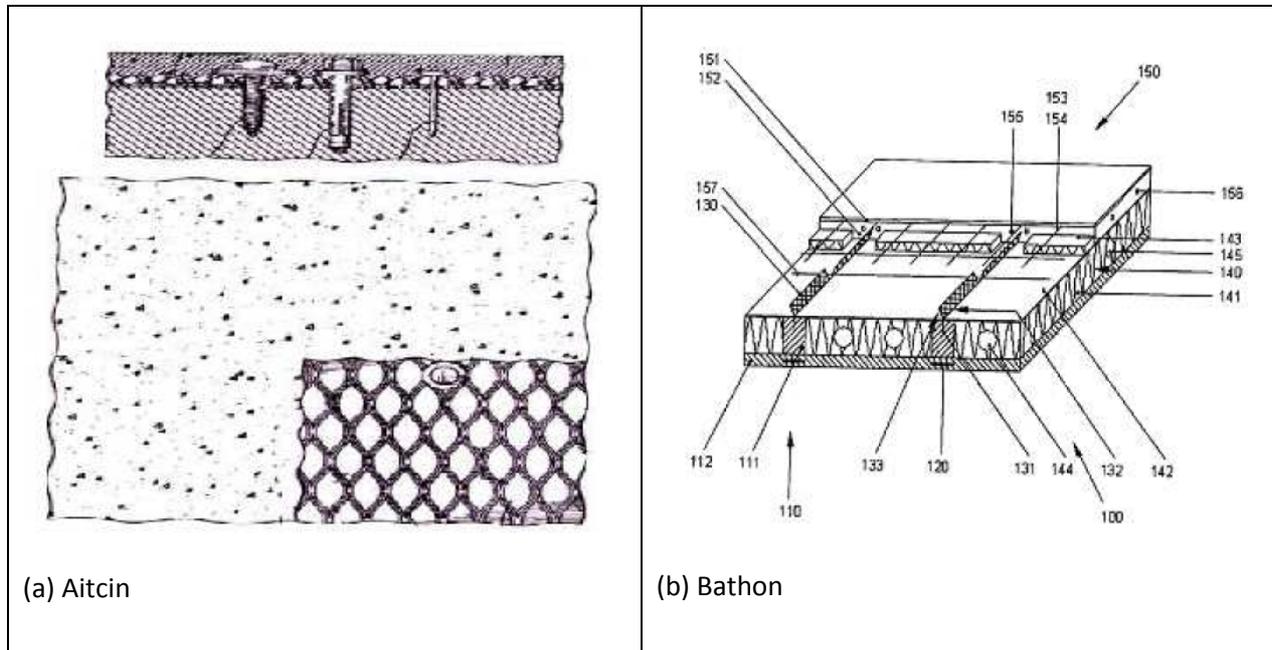


Fig. I.14 : Brevet d'invention de Aitcin et de Bathon

### I.3.7 Connexion par collage :

Nous avons vu que la connexion bois-béton peut être effectuée par des moyens mécaniques tels que ceux présentes ci-dessus. Il existe cependant aussi une technique par collage pour associer le béton et le bois [Pincus, 1970], [Maurice *et al.*, 2000]. Les résultats montrent un comportement rigide parfait de l'association bois béton, c'est à dire sans glissement. La rigidité d'ensemble de la structure est augmentée. Selon les auteurs, le collage évite aussi d'avoir des zones de concentration de contrainte que l'on retrouve avec une connexion mécanique.

***CHAPITRE II :***

***SYNTHÈSE TECHNIQUE***

## CHAPITRE II : SYNTHESE TECHNIQUE

Dans ce chapitre on présentera les différentes caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux avec lesquels on réalise " un plancher mixte Bois-Béton ".

### Les matériaux :

#### II.1. Béton :

Le béton est un matériau composite homogène de base dans la construction en Génie Civil, il est constitué des granulats de différents diamètres (gravillons et sables) agglomérés par un liant (ciment) qui durcit en présence d'eau.

Les bétons ordinaires restent le plus utilisés ils présentent une masse volumique variante selon la composition suivie pour une résistance souhaitée (ex :  $\rho=2300 \text{ kg/m}^3$  pour  $f_{c28}=25\text{mpa}$ ), ils peuvent être armés ou non suivant leur sollicitation aux efforts extérieurs.

Aujourd'hui, les progrès dans le domaine des adjuvants et des méthodes de formulation ont permis de développer une gamme de matériaux à matrice cimentaire de résistance caractéristique a la compression qui varie de  $150\text{MPa}$  jusqu'à  $250\text{MPa}$ . Ce sont les Bétons fibrés Ultra Performant (*BFUP*).

Le BFUP est un bon candidat pour la conception de ponts mixtes. En effet la structure a poutres bois limite la portée transversale du hourdis et permet de se dispenser de renforcement passif. La haute résistance en compression et le module élevé contribue à pouvoir dimensionner des éléments dalles de faible épaisseur, inférieure à  $10\text{cm}$ .

##### II.1.1 Propriétés mécaniques :

La résistance du béton aux efforts de compression et de traction varie en fonction de la nature du ciment employé, de son dosage, des granulats et de la quantité d'eau ainsi que du soin apporté à la mise en œuvre et des contrôles auxquels il est soumis. Malgré cette diversité, il reste clair que les bétons

présentent des résistances élevées en compression et des faibles résistances en traction qu'elles sont négligées en pratique. C'est pourquoi il est associé à des armatures en acier dans les zones tendues.

La résistance mécanique et la déformation sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non pas seulement pour la stabilité, mais aussi la durabilité des ouvrages.

### ***A Propriété de rigidité :***

En compression comme en traction, la déformation longitudinale est accompagnée d'une déformation transversale. Le module d'élasticité longitudinal instantané " E " est défini par le rapport de la contrainte unitaire sur la déformation unitaire. Quant au coefficient de Poisson, il représente le rapport entre sa déformation axiale et sa déformation transversale. Pour les projets courants, on admet :

#### ***A.1 Élasticité du béton :***

Le module d'élasticité E est défini par le rapport:

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}}$$

Pour les projets courants, on admet:

$$E_{ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3} \text{ (module de déformation longitudinal instantané du béton)}$$

Avec  $f_{cj}$  = résistance caractéristique à « j » jours.

$$E_{vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3} \text{ (module de déformation différée)}$$

Avec  $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$  . Il s'ensuit que

$$E_{vj} \approx \frac{1}{3} E_{ij}$$

Notes :  $E_{ij}$ ,  $E_{vj}$ ,  $f_{c28}$ ,  $f_{cj}$  sont exprimés en MPa.

Le module d'élasticité de l'acier est de l'ordre de : 209 000 N/mm<sup>2</sup>,  
Soit 209 000 N/mm<sup>2</sup>.

**A.2 Effet «Poisson» :**

En compression comme en traction, la déformation longitudinale est aussi accompagnée d'une déformation transversale. Le coefficient « Poisson » est le rapport :

$$\frac{\text{déformation transversale}}{\text{déformation longitudinale}} \quad \text{dont la valeur varie entre 0,15 et 0,30}$$

**II.1.2 Propriétés physiques :**

**B.1 Conductivité thermique :**

Avec une valeur moyenne de conductivité thermique de 1,75 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>, à mi-chemin entre les matériaux métalliques et le bois, son aptitude à transmettre la chaleur est faible.

**B.2 Le retrait :**

C'est la diminution de longueur d'un élément de béton. On l'assimile l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.

Causes et constatation	Remèdes
Le retrait avant-prise est causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton. Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.	Ils s'agit de s'opposer au départ brutal de l'eau par : - la protection contre la dessiccation. - l'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
Après la prise, il se produit : - Le retrait thermique dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment. On constate une légère diminution de longueur.	Il faut éviter de surdoser en ciment. Les ciments de classe 45 accusent moins de retrait que ceux de classe 55 de durcissement plus rapide.
- Le retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment. Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.	Le béton aura d'autant moins de retrait qu'il sera plus compact ; ce qui dépend de la répartition granulaire, car un excès d'éléments fins favorise le retrait ainsi que les impuretés (argiles, limons).

Estimation du retrait :  $\Delta l = 3 \text{ ‰} \times L$ .

$\Delta l$  : est le raccourcissement.

L : est la longueur de l'élément.

### B.3 La dilatation :

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à  $1 \times 10^{-5}$ , pour une variation de  $\pm 20$  °C on obtient:  $\Delta l = \pm 2 \text{ ‰} \times \text{longueurs}$ . Pour chaînage en B.A. de 20 m de longueur et un écart de température de 20 °C, on a une dilatation de :  $2 \text{ ‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$ .

### B.4 Le fluage :

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau VISCO-ELASTIQUE. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage (Fig. 6).

Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans.

Au bout d'un mois, les 40 % de la déformation de fluage sont effectués et au bout de six mois, les 80%. Estimation de la déformation de fluage:  $\Delta l = 4$  à  $5 \text{ ‰}$  longueur.

Cette déformation varie surtout avec la contrainte moyenne permanente imposée au matériau.

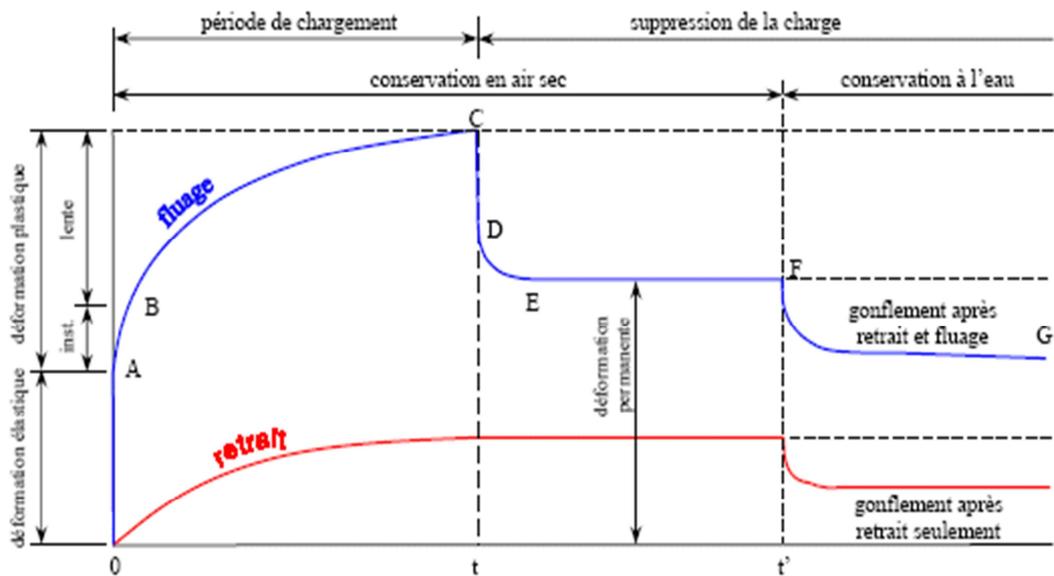


Fig. II.1 : Chargement et déchargement. (Déformation réactive de retour).

### II.1.3 Propriétés acoustiques :

Le béton offre une solution efficace à la protection contre le bruit.

Valeurs d'isolement :

- Blocs pleins et creux enduits sur les 2 faces (20cm) ou béton plein : 59db(A) au bruit rose, 54db(A) au bruit route,
- Murs en béton plein 16cm : 57db(A) au bruit rose, 53db(A) au bruit route.

### ***C.1 Comportement au feu :***

En cas de hausse de température, on observe un affaiblissement des résistances à la compression et à la traction du béton. A 600°C le béton perd 45 % de sa résistance en compression et 100% de sa résistance en traction. A 200°C, son module d'élasticité est, quant à lui, divisé par 2.

### **II.1.4 Durabilité, protection, entretien :**

La dégradation par des agressions d'origine chimique apparait quand l'agent a pu pénétrer, les solutions sont donc axées sur la constitution d'une barrière à l'aide de produits bouches pores, oléophobes ou filmogènes. La protection des ouvrages des agressions d'origine climatique (gel/dégel) se fait en évitant le ruissellement, l'infiltration de l'eau (gouttes d'eau, couvertines...) et les remontées d'eau (revêtement d'étanchéité).

### **II.2 Bois :**

Le bois est une ressource naturelle qui est largement disponible dans le monde et il possède plusieurs avantages environnementaux et structuraux.

Du cote environnemental, le bois est d'abord un lieu de fixation du dioxyde de carbone à travers un processus biologique de stockage de matière ligno-cellulosique au sein de l'arbre. Pendant la croissance d'un arbre, 1 tonne du bois absorbe 1.6 tonne de gaz carbonique, émet 1. 1 tonne d'oxygène et fixe 0.5 tonne de carbone. En termes d'analyse du cycle de vie (ACV), plusieurs facteurs en faveur du bois ont été constatés :

- Le bois est un matériau renouvelable.

- Le bois est un matériau durable à condition d'une bonne conception et d'un bon entretien.
- Le bois permet de diminuer l'impact climatique des structures.
- 

Du côté structural, le bois présente un net avantage par rapport aux autres matériaux lorsque l'on considère le rapport entre performances mécaniques et densité (Fig. II.2). En outre, avec l'apparition des matériaux dérivés du bois comme les lamellés collés, les contrecollés, les panneaux, il est possible de construire des ouvrages dont l'esthétique, la légèreté et la durabilité sont assurées.

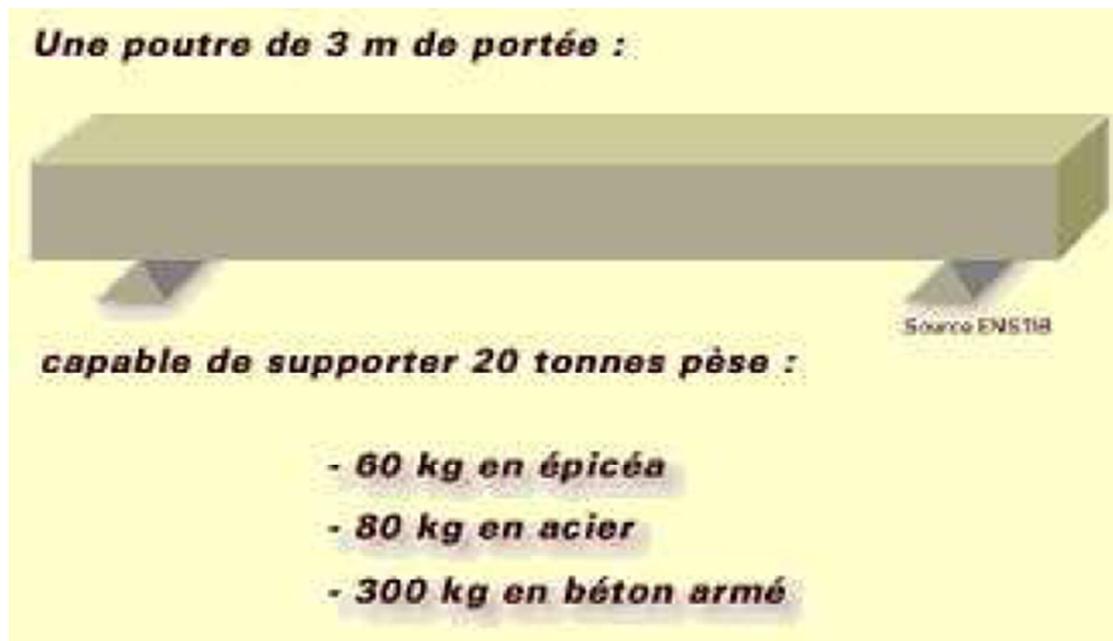


Fig. II.2 : Comparaison des matériaux bois, acier et béton armé.

### II.2.1 Anisotropie du bois :

Le bois est reconnu pour être un matériau hétérogène et anisotrope. Son hétérogénéité vient du fait qu'il est composé de différents éléments résultant du métabolisme de l'arbre. En ce qui concerne l'anisotropie du bois, on lui reconnaît des caractéristiques physiques et mécaniques différentes suivant chacune de ses directions principales. Les trois directions principales dans le bois sont : la direction longitudinale (L), la direction tangentielle (T) et la direction radiale (R) (Fig.II.3 et Fig.II.4).

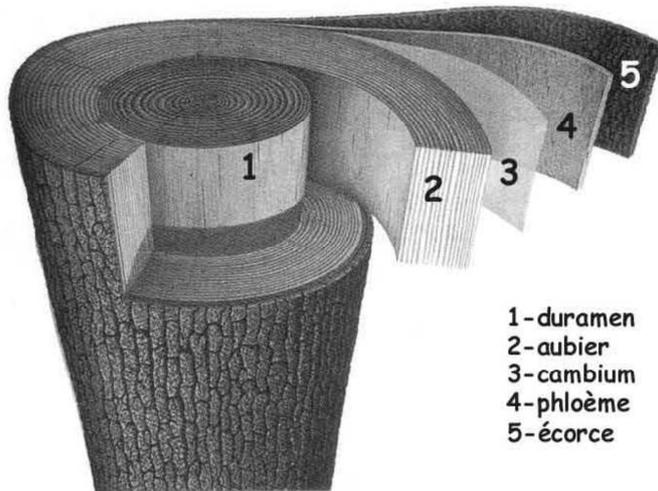


Fig. II.3 : Structure générale d'un tronc d'arbre

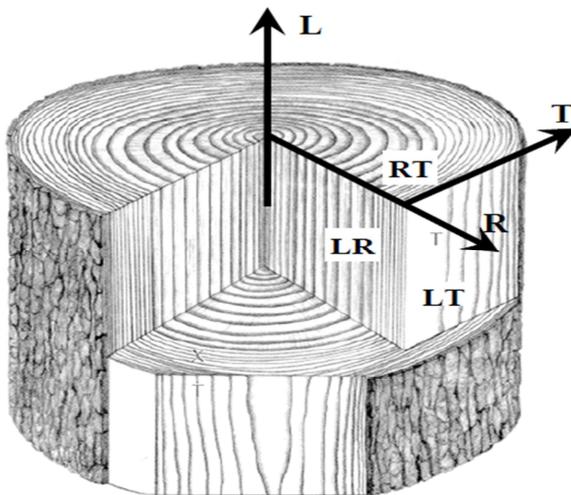


Fig.II.4 : Directions principales dans une pièce de bois. (R: radiale; T: tangentielle; L : longitudinale).

### II.2.2 La structure hygroscopique :

La température et l'humidité de l'air modifient la structure hygroscopique du bois entraînant ainsi des phénomènes de retrait-gonflement dont les ordres de grandeurs varient selon la direction :

- Retrait T fort : ~ 10%
- Retrait L : ~ 0%
- Retrait R : ~ 5%

Le bois a tendance à se stabiliser à une humidité d'équilibre, dite équilibre hygroscopique. Sous climat tempéré, les taux d'humidité d'équilibre sont :

- pour les bois en extérieur : 13 % en été, 19% en hiver,
- pour les bois en intérieur : 12-13% en été, 7% en hiver.

Il est donc indispensable de sécher le bois avant usinage et utilisation en construction mais aussi de réaliser la mise en œuvre au plus près de son humidité d'équilibre.

- pour les bois en extérieur : Il convient donc que son taux d'humidité de mise en œuvre soit d'environ 15-16%,

Pour les bois en intérieur : Il convient donc que son taux d'humidité de mise en œuvre soit d'environ 10%.

Le séchage peut être naturel ou artificiel. Il faut, dans les deux cas, veiller à ce que la vitesse d'évaporation de l'eau ne soit pas trop élevée.

### II.2.3 Classement du bois :

Le bois est un matériau naturel. Il existe donc une très grande variabilité qui nécessite un classement. Cette variabilité est visible à plusieurs niveaux :

- entre différents arbres ;
- entre différentes essences de bois (variabilité interspécifique) ;
- au sein d'une même essence (variabilité intra-spécifique).

Les bois de structure sont répartis en classe de résistance :

- C : les résineux et le peuplier,
- D : les feuillus,
- GL : le lamellé collé,
  - GL (h) pour bois lamellé collé homogène,
  - GL (c) pour bois lamellé collé panaché.

Le nombre qui suit la classe de résistance indique la résistance caractéristique en flexion (en MPa) et on a, en général :

- C18 : charpente traditionnelle ;
- C24 : fermettes industrialisées, lamellé collé normal ;
- C30 : (haute résistance), lamellé collé extrêmement trié et de haute technicité.

Valeurs caractéristiques des résistances, des modules d'élasticité et de masse volumique du bois massif

Classes de résistance	Peuplier et résineux														Fenilins						
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70			
Ratio, facteur de redistribution suivant article 6.3.2 de l'EC5 version décembre 2003	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
km, facteur de redistribution des contraintes de flexion dans une section rectangulaire (article 6.1.6 de l'EC5 version décembre 2003)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			
km, facteur de redistribution des contraintes de flexion dans les autres sections (article 6.1.6 de l'EC5 version décembre 2003)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Norme N suivant recommandation Eurocode 5 version décembre 2003	1,3	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3			
2.4.1 tableau 2.3																					
Variations dimensionnelles pour un écart de 1% d'humidité du bois																					
dans le sens de la longueur en %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			
dans le sens de la largeur en %	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			
dans le sens de l'épaisseur en %	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			
Propriétés de résistance (en N/mm <sup>2</sup> )																					
Valeur caractéristique de la résistance à la traction	f <sub>t,k</sub>	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70		
Valeur caractéristique de la résistance à la traction axiale	f <sub>t,0,k</sub>	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42		
Valeur caractéristique de la résistance à la traction transversale	f <sub>t,90,k</sub>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale	f <sub>c,0,k</sub>	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34		
Valeur caractéristique de la résistance à la compression transversale	f <sub>c,90,k</sub>	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0		
Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement	f <sub>v,k</sub>	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0		
Propriétés de rigidité (en N/mm <sup>2</sup> )																					
Valeur caractéristique moyenne du module d'élasticité axiale	E <sub>0,mean</sub>	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	10,0	11,0	11,0	14,0	17,0	20,0		
Valeur caractéristique au 5e percentile du module d'élasticité axiale	E <sub>0,05</sub>	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8		
Valeur caractéristique moyenne du module d'élasticité transversale	E <sub>0,90,mean</sub>	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33		
Valeur caractéristique moyenne du module de cisaillement	G <sub>mean</sub>	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,01	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25		
Masse volumique (en kg/m <sup>3</sup> )																					
Valeur caractéristique de la masse volumique	ρ <sub>k</sub>	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	310	340	350	450	550	600		
Valeur moyenne de la masse volumique	ρ <sub>mean</sub>	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1000		

Tab.II.1 : EN 338 : Bois de structure - Classes de résistance en "Mpa"

Valeurs caractéristiques des résistances, des modules d'élasticité et de masse volumique du bois lamelle collé :

	Classes de résistance					Bois lamellés collés homogènes					Bois lamellés collés panachés				
	GL 24 h	GL 28 h	GL 32 h	GL 35 h	GL 38 h	GL 24 c	GL 28 c	GL 32 c	GL 36 c	GL 40 c	GL 44 c	GL 48 c	GL 52 c	GL 56 c	
Belac, facteur de rectitude suivant article 6.3.2 de l'EC5 version décembre 2003 km, facteur de redistribution des contraintes de flexion dans une section rectangulaire (article 6.1.5 de l'EC5 version déc. 2005)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
km, facteur de redistribution des contraintes de flexion dans les autres sections (article 6.1.6 de l'EC5 version déc. 2005) GammaM suivant recommandation Eurocode 5 version décembre 2003 article 2.4.1 tableau 2.3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
<b>Variations dimensionnelles pour un écart de 1% d'humidité du bois</b>															
dans le sens de la longueur en %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
dans le sens de la largeur en %	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
dans le sens de l'épaisseur en %	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
<b>Propriétés de résistance (en N/mm<sup>2</sup>)</b>															
Valeur caractéristique de la résistance à la flexion	f <sub>m</sub> g/k	24	28	32	36	24	28	32	36						
Valeur caractéristique de la résistance à la traction axiale	f <sub>t</sub> 0 g/k	16,5	19,5	22,5	26,0	14,0	16,5	19,5	22,5						
Valeur caractéristique de la résistance à la traction transversale	f <sub>t</sub> 90 g/k	0,40	0,45	0,50	0,50	0,35	0,40	0,45	0,50						
Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale	f <sub>c</sub> 0 g/k	24,0	26,5	29,0	31,0	21,0	24,0	26,5	29,0						
Valeur caractéristique de la résistance à la compression transversale	f <sub>c</sub> 90 g/k	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3						
Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement	f <sub>v</sub> g/k	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8						
<b>Propriétés de rigidité (en kN/mm<sup>2</sup>)</b>															
Valeur caractéristique moyenne du module d'élasticité axiale	E <sub>0</sub> g/mean	11.600	12.600	13.700	14.700	11.600	12.600	13.700	14.700						
Valeur caractéristique au 5e percentile du module d'élasticité axiale	E <sub>0</sub> g/05	9.400	10.200	11.100	11.900	9.400	10.200	11.100	11.900						
Valeur caractéristique moyenne du module d'élasticité transversale	E <sub>90</sub> g/mean	0.390	0.420	0.460	0.490	0.320	0.390	0.420	0.460						
Valeur caractéristique moyenne du module de cisaillement	G <sub>mean</sub>	0.720	0.780	0.850	0.910	0.590	0.720	0.780	0.850						
<b>Masse volumique (en kg/m<sup>3</sup>)</b>															
Valeur caractéristique de la masse volumique	ρ <sub>0</sub> g/k	380	410	430	450	350	380	410	430						
Valeur moyenne de la masse volumique	ρ <sub>0</sub> g/mean évalué hors norme à 1,16 fois ρ <sub>0</sub> g/k	437	472	495	518	403	437	472	495						

Tab.II. 2: Propriétés caractéristiques des bois lamellés collés définies par NF EN 1194, pour calculs avec EC5 en "Mpa"

## II.2.4 Propriétés mécaniques du bois :

Les propriétés mécaniques du bois caractérisent la rigidité et la résistance du bois face aux forces qui tendent à le déformer. En effet, le bois est un solide déformable qui réagit à l'application des charges en se déformant sous leurs effets.

### A.1 Élasticité :

L'élasticité est la propriété qu'ont certains matériaux comme le bois de reprendre leur forme ou leurs dimensions initiales lorsque la charge causant la déformation est enlevée. Ceci a lieu lorsque qu'on est en dessous de la limite proportionnelle ou élastique. Autrement, une partie de la déformation sera permanente, même après enlèvement de la charge. La limite proportionnelle est un paramètre indispensable pour distinguer le comportement élastique du comportement plastique. La courbe contrainte-déformation (Fig.II.5) permet de définir le module d'élasticité "**E**" ou module d'Young. Celui-ci n'est valable que jusqu'à la limite proportionnelle.

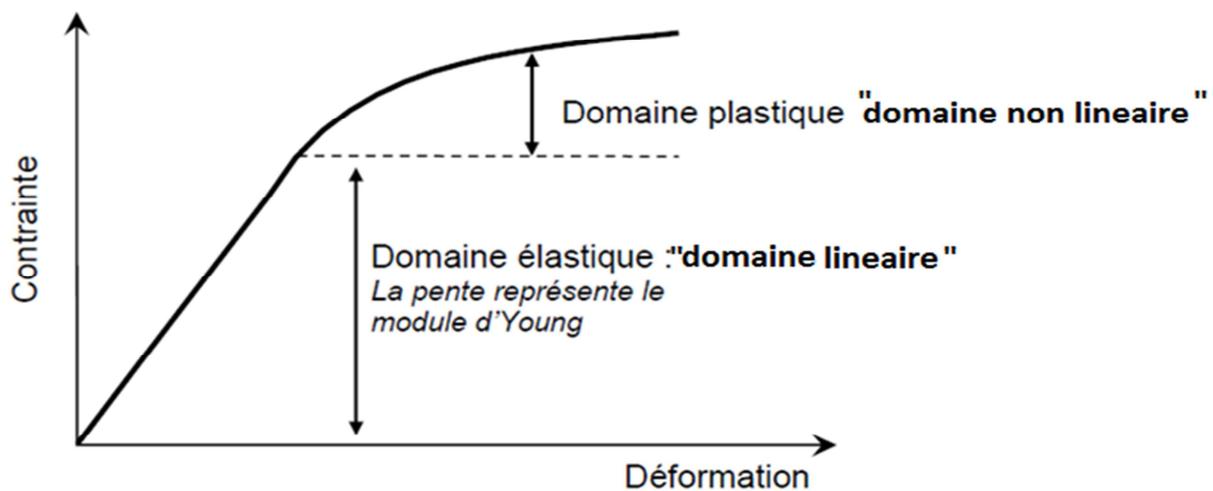


Fig.II.5 : Courbe contrainte-déformation du matériau bois.

La contrainte de rupture est l'effort maximal que peut supporter une pièce. Lorsqu'un corps est soumis à des contraintes de cisaillement, on utilise le module de coulomb  $G$  pour caractériser sa résistance au cisaillement. Étant donné que tous matériaux homogènes soumis à une sollicitation présentent

des déformations passives dans les directions perpendiculaires à l'application de l'effort, le coefficient de Poisson  $\nu$  est utilisé.

La loi de Hooke est une relation linéaire ( $\epsilon = \sigma E$ ) reliant la déformation à la contrainte pour la modélisation du comportement d'un solide élastique parfait. Étant donné l'anisotropie du bois, la loi de Hooke généralisée (Eq. 1.1) est couramment utilisée, faisant apparaître un tenseur d'ordre 4, appelé tenseur des complaisances élastiques (Kollmann et Côté 1968, Guitard 1987).

$$\begin{bmatrix} \epsilon_l \\ \epsilon_r \\ \epsilon_t \\ \gamma_{rt} \\ \gamma_{lt} \\ \gamma_{lr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_l} & -\frac{\nu_{rl}}{E_r} & -\frac{\nu_{tl}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_l} & \frac{1}{E_r} & -\frac{\nu_{tr}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_l} & -\frac{\nu_{rt}}{E_r} & \frac{1}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{lt}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{lr}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_l \\ \sigma_r \\ \sigma_t \\ \tau_{rt} \\ \tau_{lt} \\ \tau_{lr} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Où :

- $\epsilon_R, \epsilon_T, \epsilon_L$  : Les déformations axiales suivant les directions R, T et L
- $\sigma_R, \sigma_T, \sigma_L$  : Les contraintes normales suivant les directions R, T et L
- $\gamma_{TL}, \gamma_{RL}, \gamma_{RT}$  : Les déformations angulaires par rapport à R, T et L
- $\tau_{TL}, \tau_{RT}, \tau_{RT}$  : Les contraintes de cisaillement dans les plans TL, RL ou RT

Les valeurs des propriétés mécaniques impliquées dans l'équation (1.1) pour les bois résineux et les bois feuillus séchés au voisinage de l'humidité de 12% et à l'état vert sont fournies dans différentes références (Hearmon 1948; Kollmann et Côté 1968; Bodig et Jayne 1982; Mudry 1986). Parmi ces références, Bodig et Jayne (1982) présentent une excellente synthèse des propriétés mécaniques pour différentes espèces.

Les propriétés élastiques du bois sont sensibles à la variation de son état physique. Parmi les influences physiques, les paramètres principaux sont la densité, la teneur en humidité et la température. Lors du séchage du bois, l'influence de la température et de la teneur en humidité sur le comportement mécanique du bois est très marquée. La complexité du comportement du bois est multipliée par les variations de ses propriétés mécaniques avec la température et la teneur en humidité et l'interaction entre elles. Beaucoup de travaux ont été effectués sur cet aspect (Thunell 1941, Sulzberger 1953, Byvshykh 1960, Kollmann et Côté 1968, Bodig et Goodman 1973, Gerhards 1982, Bazant 1985, Koponen et al. 1991).

**A.2 Influence de la densité :**

L'influence de la densité sur les propriétés mécaniques du bois a été observée depuis longtemps. Ylinen (1942) et Bodig et Jayne (1982) ont mis en évidence que les modules de Young, les coefficients de Poisson et les coefficients de Coulomb sont fortement dépendants de la densité du bois. Bodig et Jayne (1982) relient les propriétés mécaniques impliquées dans l'équation (1.1) à la densité du bois par la formule suivante:

$$Y = aD^b \quad (1.2)$$

Où "Y" sont les propriétés élastiques," D" est la densité du bois, "a" et "b" sont des constantes données dans des tables pour chaque espèce de bois.

Des études sur l'effet de la densité sur la limite d'élasticité ont été effectuées par Ylinen (1942) et il a été observé que la limite d'élasticité augmente proportionnellement avec la densité et que la relation entre ces deux paramètres peut être représentée par une fonction linéaire.

Module	Valeur des modules (MPa) en fonction de la densité <i>d</i>	
	Feuillus à <i>H</i> = 12 % 0,1 < <i>d</i> < 1,2 (1)	Résineux à <i>H</i> = 12 % 0,3 < <i>d</i> < 0,6 (1)
<i>E<sub>L</sub></i>	= 14 400 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,03</sup>	= 13 100 + 41 700 ( <i>d</i> - 0,45)
<i>E<sub>R</sub></i>	= 1 810 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,3</sup>	= 1 000 + 2 370 ( <i>d</i> - 0,45)
<i>E<sub>T</sub></i>	= 1 030 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,74</sup>	= 636 + 1 910 ( <i>d</i> - 0,45)
<i>G<sub>TL</sub></i>	= 971 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,26</sup>	= 745 + 989 ( <i>d</i> - 0,45)
<i>G<sub>LR</sub></i>	= 1 260 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,14</sup>	= 861 + 2 080 ( <i>d</i> - 0,45)
<i>G<sub>RT</sub></i>	= 366 ( <i>d</i> / 0,65) <sup>1,74</sup>	= 83,6 + 228 ( <i>d</i> - 0,45)

(1) Plage de validité des modèles.

Tab.II.3 : Effets de la densité sur les propriétés mécaniques du bois

## II.2.5 Propriétés physiques :

### *B.1 Conductivité thermique :*

Le bois, matériau cellulosique est un faible conducteur thermique étant donné qu'il dispose de très peu d'éléments libres et qu'il est très poreux. Il est donc souvent utilisé comme matériau d'isolation ou coupe-feu, avec les produits dérivés du bois. Cependant, la conductivité thermique est plus élevée selon l'axe longitudinal étant donné la continuité de matière et plus faible sur les axes transversaux étant donné la porosité. Enfin, elle est proportionnelle à la densité du bois et à son taux hygroscopique.

Ex :

- Pour le chêne : 0,21 W/mK
- Pour le hêtre : 0,17 W/mK
- Pour le sapin, l'épicéa : parallèle aux fibres, 0,24 W/mK et perpendiculaire aux fibres : 0,15 W/mK

## II.2.6 Propriétés acoustiques :

Le bois étant lui-même un matériau de base pour de nombreux produits d'insonorisation, les constructions en bois ont en général un bon comportement acoustique.

Pour les sons aériens, l'amélioration peut être apportée par une paroi en plaques de bois aggloméré.

Ex : Pour 10 mm : Isolement 18dB

Pour 30 mm : Isolement 25dB

Pour limiter les bruits d'impact, des solutions simples intervenant sur le revêtement du sol, existent.

Ex : linoleum de liège 3,5mm : amélioration 15dB

### *C.1 Comportement au feu :*

Comme précédemment indiqué, la dilatation thermique ne joue aucun rôle dans le comportement du bois au feu (sauf dans des cas exceptionnels).

La résistance au feu correspond au temps pendant lequel le bois peut jouer son rôle de structure. Le dimensionnement se fait par le calcul de la section résiduelle qui est fonction de la vitesse de combustion du matériau. Ce calcul

est simplifié du fait de la linéarité entre la profondeur de bois carbonisée et le temps d'exposition au feu.

### *C.2 Phénomènes physiques :*

#### *Dilatation thermique :*

Dans les calculs, sauf cas exceptionnels, la dilatation thermique  $\alpha t$  ne joue aucun rôle. En effet, sa valeur est négligeable devant le rétrécissement dû à la perte d'humidité (dans les conditions normales de température). Le coefficient de dilatation thermique du bois est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-6}$ .

#### *Retrait :*

Comme précédemment indiqué, le retrait du bois est quasi nul dans le sens longitudinal.

#### *Fluage :*

Le fluage du bois est fonction de l'humidité du milieu et des charges permanentes. Il réduit la résistance des pièces concernées.

Durabilité, protection, entretien :

#### *Agressions biologiques :*

Un produit ou une partie d'ouvrage en bois peut être soumis au risque d'agressions biologiques. La norme NF-EN 335 définit 5 classes de risque [Fig. II.4].

Classe de risques	Humidité du bois	Possibilité d'apparition des agents biologiques				
		Champignons	Coléoptères	Termites	Térébrants marins	Exemples
1	Toujours inférieure à 20 %	Non	Oui	Oui, dans les régions concernées	Non	Menuiseries intérieures et meubles dans salle de séjour
2	Occasionnellement supérieure à 20 %	Oui	Oui	Oui, dans les régions concernées	Non	Menuiseries intérieures et meubles dans salle de bain. Charpente
3	Fréquemment supérieure à 20%	Oui	Oui	Oui, dans les régions concernées	Non	Menuiseries extérieures. Bardage
4	En permanence supérieure à 20 %	Oui (risque important)	Oui	Oui, dans les régions concernées (risque important)	Non	Bois au contact du sol ou de l'eau douce
5	En permanence supérieure à 20 %	Oui (risque important)	Oui	Oui, dans les régions concernées	Oui, dans les parties immergées	Bois au contact de l'eau de mer

Tab.II.4: Définition des classes de risque d'attaque biologique (NF EN 335)

### Corrosion :

Les phénomènes de corrosion vis-à-vis des métaux (vis, quincaillerie...) se manifestent surtout pour des bois dont le pH est inférieur à 4,4 [Fig. 12]. Il faut toutefois privilégier l'acier en inox aux aciers simples ou galvanisés.

pH de résineux		pH de feuillus	
Sapin	5 à 6	Chêne	3,3 à 4
Épicéa	4,5 à 5	Châtaignier	3,6
Mélèze	4	Robinier	5,3
Pin sylvestre	4 à 4,5	Orme	6 à 7,2
Western Red Cedar	2,9 à 4	Peuplier	5,8

Tab.II.5 :PH des essences résineuses et feuillues

### Durabilité :

Pour un taux d'humidité inférieur à 22%, il n'y a pas de champignon dans le bois. Pour cela, des dispositions constructives doivent être mises en place pour éviter que l'eau n'entre dans le bois ou bien pour qu'elle soit évacuée rapidement (systèmes d'aération, dispositifs de drainage...). Pour augmenter la

durabilité du bois, il existe une autre solution constituée par le traitement chimique.

### Protection :

Il existe différents moyens de protéger le bois [Fig. 13] :

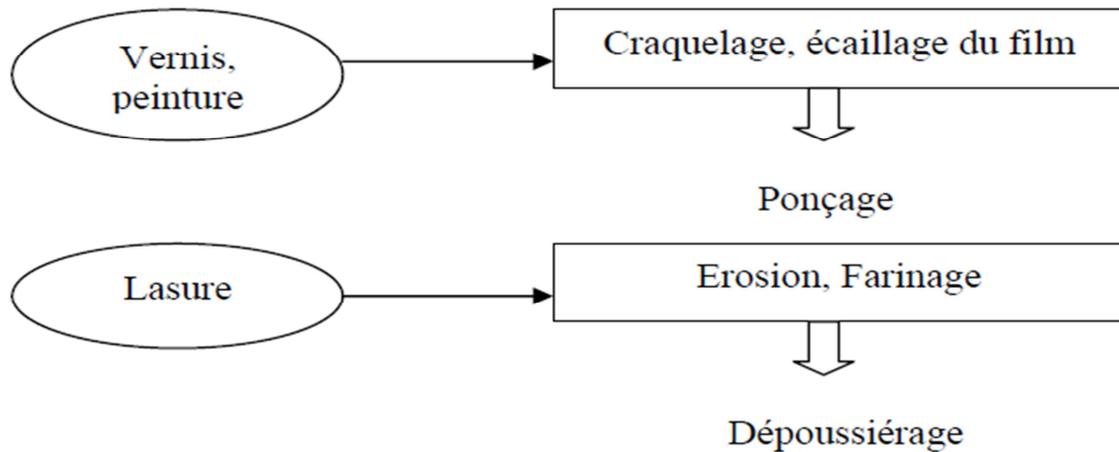


Fig. II.6 - Protection du bois

### II.2.7 Entretien :

Si le bois est très exposé, l'entretien se fait tous les 3 ans.

S'il est exposé, l'entretien se fait tous les 4 à 6 ans.

Si le bois est abrité, l'entretien se fait tous les 6 à 10 ans.

### II.3 LES CONNECTEURS :

Dans les concepts de structure mixte bois-béton, le connecteur de liaison est toujours un point extrêmement sensible.

Les connecteurs pour planchers mixtes ont connus de nombreuses innovations, il existe entre autres des connecteurs à cheville, tire fond métalliques, bacs aciers vis et connecteurs cylindriques.

#### II.3.1 Définition :

Les connecteurs sont des organes métalliques qui assurent la liaison mécanique de l'ossature bois à dalle en béton, ils sont caractérisés par :

La résistance à la traction optimum

### II.3.2 Importance de ces connecteurs :

En construction mixte, que ce soit acier-béton ou bois-béton, une grande attention est portée à l'interface des deux matériaux. Cette liaison ne peut être faite par adhérence (cas du béton), on utilise donc des organes de liaisons : des connecteurs.

C'est cette connexion qui assure l'action composite de la section composée de deux matériaux. Son rôle majeur est d'empêcher (ou de limiter) le glissement tendant à se produire à l'interface bois-béton sous l'effet des forces extérieures. Ainsi, ils transmettent les efforts de la partie béton à la partie bois du plancher. Sans le connecteur la structure se comporterait comme des sections indépendantes aux propriétés mécaniques faibles.

### II.3.3 Différents types de connecteurs :

Pour effectuer cette liaison, on peut avoir recours à différents types de connecteurs allant du simple clou à la planche en bois cloué sur place. Cependant, un bon nombre de sociétés mettent au point divers procédés, certains sont très simples à mettre en place, alors que d'autres nécessitent une préparation en atelier.

Voici une liste de types de connecteurs connus sur le marché connecteurs :

#### ⚙️ Connecteurs SFS-VB :

Il s'agit d'une grande vis qui ne nécessite pas de pré-perçage, elle se visse à l'aide d'une visseuse électrique, les dimensions et les propriétés sont les suivantes :

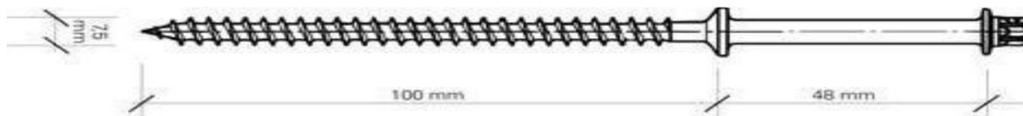


Fig.II.7 : Connecteurs SFS VB-48-7,5x100 mm

Visseuse SFS CF 40-VB

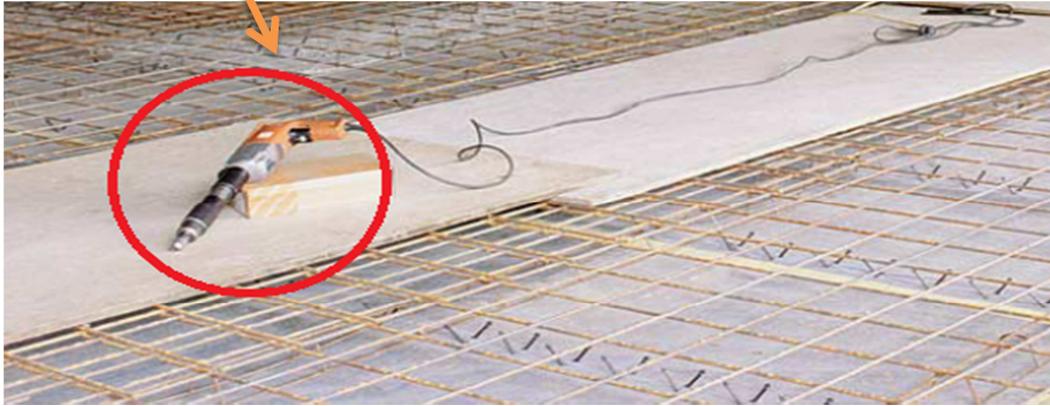


Fig.II.8 : Mise en œuvre des connecteurs SFS-VB

### Propriétés mécanique :

Les valeurs de calcul seront portées dans le tableau suivant selon la disposition des connecteurs.

disposition/angle d'inclinaison	effort rasant admissible Tadm [N]	module de glissement C [N/mm]	
		ELU	ELS
45°/135°	5 000 – 40 ts	12000	18000
45°/90°	7 000 – 80 ts	16600	25000

Tab.II.6: valeurs caractéristique des connecteurs selon leur disposition

T adm = effort rasant admissible par paire de connecteurs (Résistance cisaillement max) en N

C = module de glissement par paire de connecteur N/mm

ts = épaisseur du coffrage, y c. couche de séparation

L'écartement minimal des connecteurs autorisé suivant la largeur de la poutre en bois sera porte dans la figure suivante

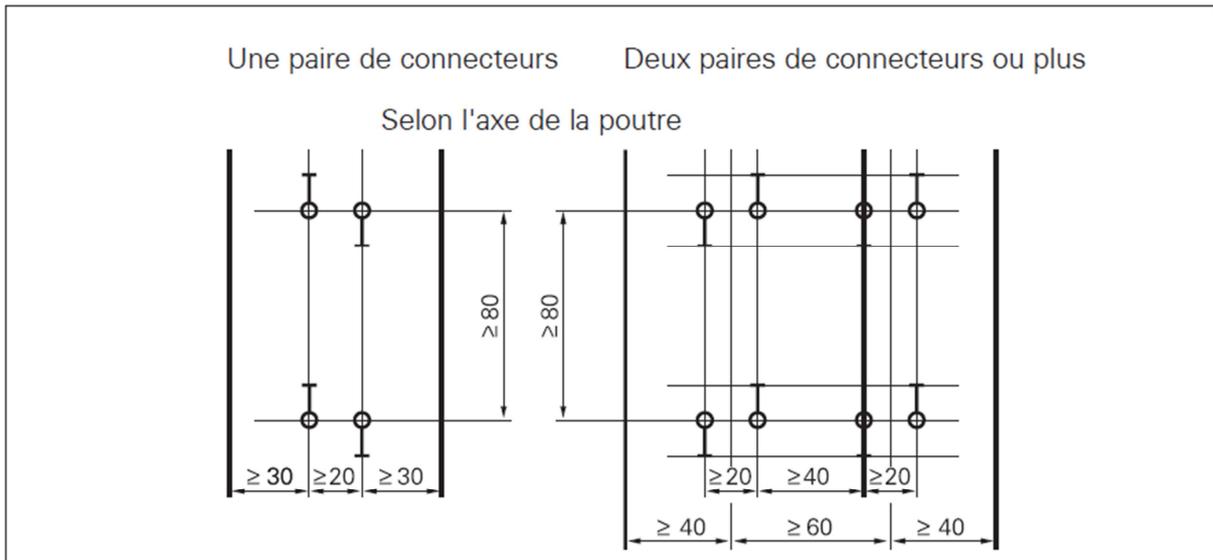


Fig.II.9 : écartement minimal des connecteurs en (mm)

**B Connecteurs TECNARIA :**

La société Tecnaria fabrique et commercialise de connecteurs utilisée pour la mise en œuvre des planchers mixte bois-béton. Ces connecteurs existent en version ‘base’ et ‘maxi’

Les connecteurs ‘Base’ sont composés d’une plaque de 50\*50\*4 mm<sup>3</sup> . modelée à crampons ayant deux trous pour l’introduction de vis ou de tire-fond de 8mm de diamètre avec sous tête tronconique, et d’un ergot en acier zingue de 12 mm de diamètre ,assemble a la plaque par calquage a froid.

Les hauteurs d’ergot disponibles sont les suivant : 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175et 200 mm associées a des longueurs devis 70, 100 et 120 mm .

Les discreptions des connecteurs ‘base’ seront dans la figure suivate :

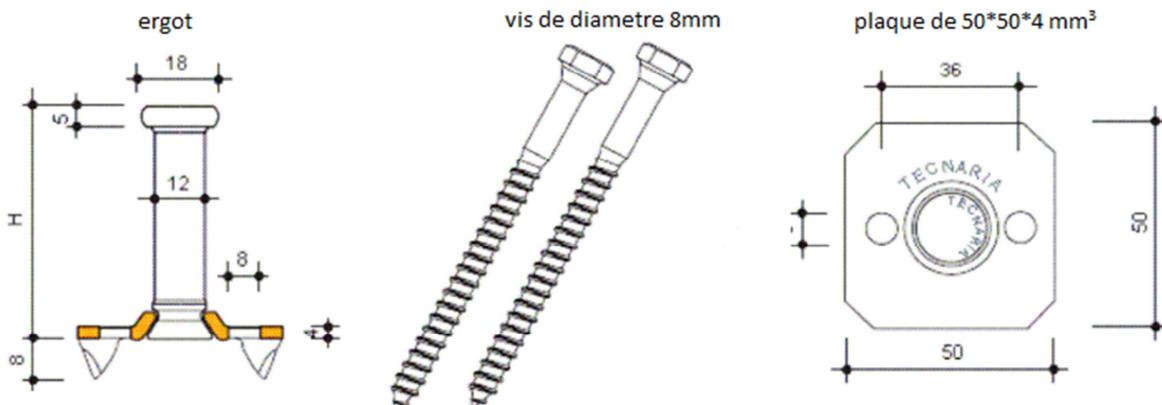


Fig.II.10 : description des connecteur ‘Base’ de Tecnaria, 50\*50\*4 vis  $\phi$  8mm

Les connecteurs 'Maxi' sont composés d'une plaque de 75\*50\*4 mm<sup>3</sup> . modelée à crampons ayant deux trous pour l'introduction de vis ou de tire-fond de 10mm de diamètre avec sous tête tronconique, et d'un ergot en acier zingue de 12 mm de diamètre ,assemble a la plaque par calquage a froid.

Les hauteurs d'ergot disponibles sont les suivant : 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175et 200 mm associées à des longueurs devis 100, 120 et 140 mm .

Les discreptions des connecteurs 'base' seront dans la figure suivante :

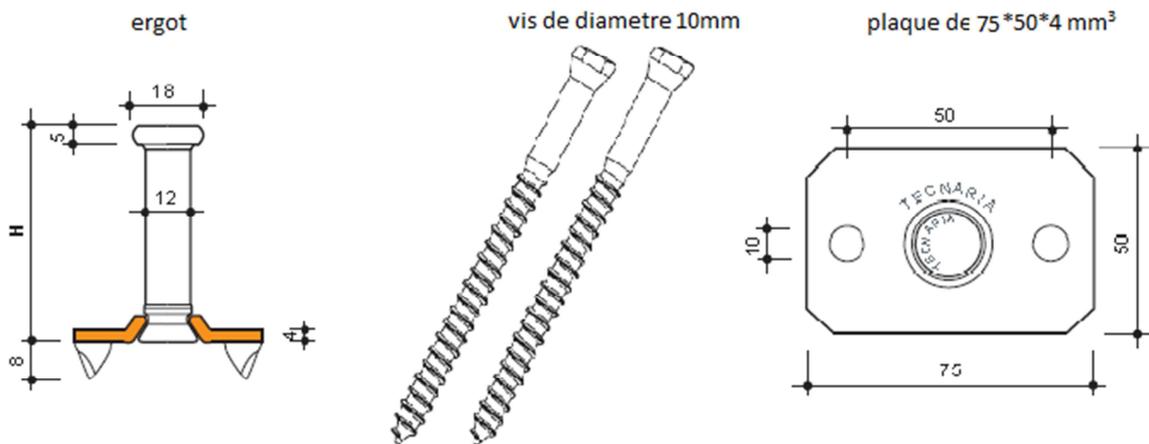
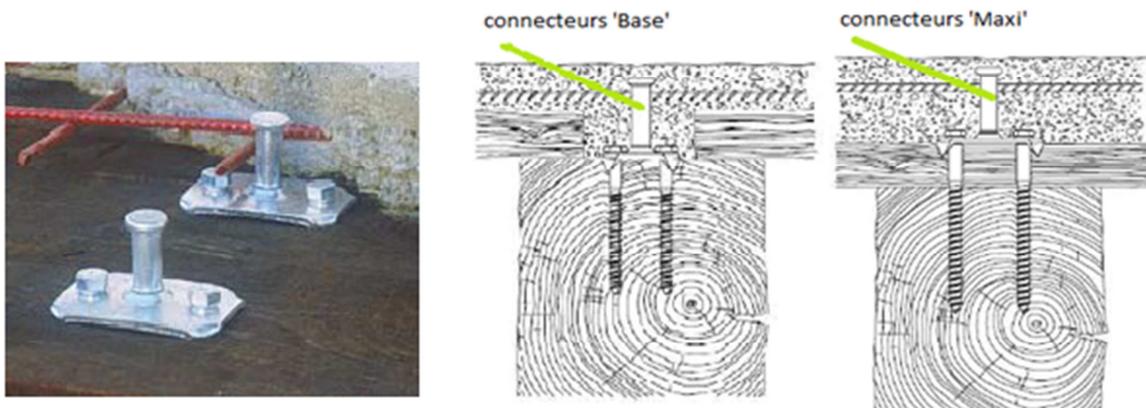


Fig.II.11 : description des connecteur 'Maxi' de Tecnar, 75\*50\*4 vis  $\phi$  10mm

Apercue sur la mise en œuvre des ces connecteurs :



Tab.II.12 : Mise en œuvre des connecteurs Tecnar

Propriétés mécanique :

Les valeurs suivantes reportent les résistances caractéristiques et les modules de glissement des connecteurs permettant un calcul conforme aux règlements eurocodes. Ces valeurs ont été déterminées à partir des essais réalisés par Centre National de Recherche sur les connecteurs 'Base' et 'Maxi'.

Les valeurs du tableau ci-dessous sont pour un calcul selon l'eurocode 5

Pour simplifier le nombre de valeurs caractéristiques utilisable, l'ensemble des valeurs a été ramené à la classe mécanique C16 pour les résineux et D30 pour les feuillus.

Connecteur	Platelage	Bois	$F_{v,Rk}$	$K_{ser}$	$K_u$
			kN	kN/mm	kN/mm
BASE	sans	C16 et +	17,2	17,9	9,99
		D30 et +	19,5	16,5	9,87
	20mm	C16 et +	8,96	4,00	2,49
		D30 et +			
	40mm	C16 et +	5,86	1,43	1,20
		D30 et +			
MAXI	sans	C16 et +	19,3	18,6	10,4
		D30 et +	24,5	21,2	13,6
	20mm	C16 et +	15,0	7,68	4,35
		D30 et +			
	40mm	C16 et +	11,3	3,06	2,66
		D30 et +			

Tab.II.7 : valeurs pour un calcul selon eurocode5

$F_{v,Rk}$  : résistance caractéristique d'un connecteur en KN

$K_{ser}$  : module de glissement pour l'ELS en KN/mm

$K_u$  : module de glissement pour l'ELU en KN/mm

**C Connecteurs SBB :**

Les connecteurs sont des tire fonds métalliques .Ils permettent la liaison mécanique de l'ossature bois à la dalle béton.

Description d'un connecteur SBB :

La gamme SBB® est composée de 4 types de connecteurs :

modèle	Diamètre partie lisse (mm)	Longueur sous tête (mm)
21-170	20+0/-0.5	170+ <u>5</u>
26-150	26+0/-0.5	150+ <u>5</u>
26-170	26+0/-0.5	170+ <u>5</u>
26-250	26+0/-0.5	250+ <u>5</u>

Tab.II.8 :La gamme SBB® est composée de 4 types de connecteurs

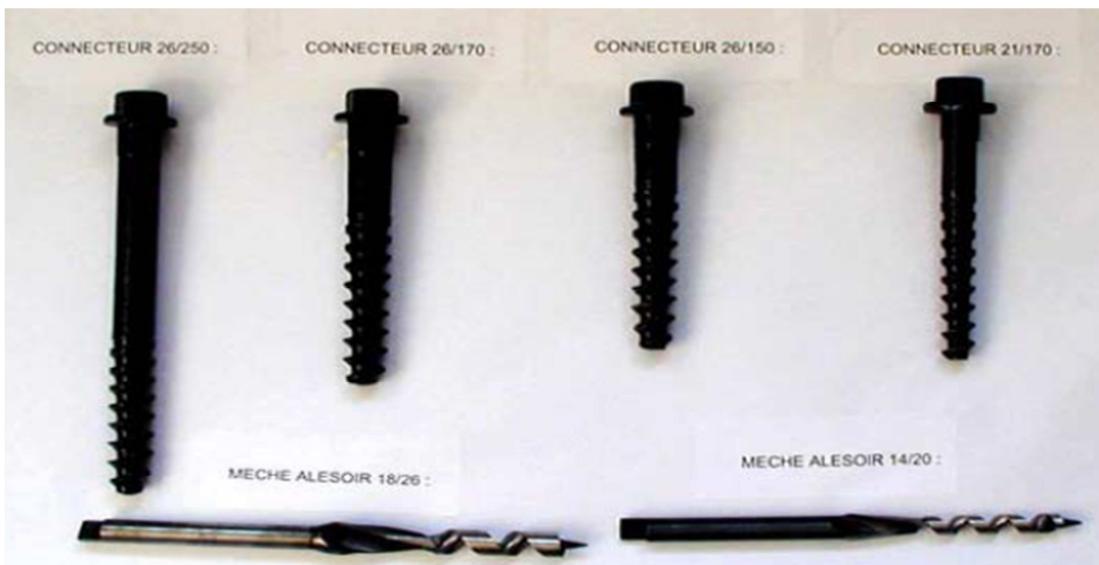


Fig.II.13 : Description des différents types connecteurs SBB

Mise en œuvre des connecteurs SBB :

La mise en œuvre de ces connecteur s’effectue à l’aide des perceuses (HITACHI WH 22 850W ou MAKITA 6906 ou BOSCH GDS 24.). La procédure est dans la figure 23



Fig.II.14 : Mise en œuvre des connecteurs SBB

L'écartement minimal des connecteurs autorisé suivant la largeur de la poutre en bois sera porte dans le paragraphe suivant

Les connecteurs peuvent être mis en œuvre soit en ligne, soit en quinconce. Ce choix dépend de la largeur de la poutre d'une part et de la densité de connecteur requise, résultant de l'effort rasant à reprendre à l'interface entre le bois et le béton.

Lorsqu'ils sont mis en œuvre en ligne, l'espacement entre les connecteurs est toujours compris entre 15 cm au minimum et 60 cm au maximum.

Lorsqu'ils sont mis en œuvre en quinconce, sur deux lignes parallèles, l'espacement minimum entre deux connecteurs est réduit à 12 cm à condition que l'espacement entre les deux lignes de connecteurs soit supérieur ou égal à 5 cm. La distance maximum est inchangée et égale à 60 cm.

Les dispositions relatives au positionnement des connecteurs figurent sur les fiches d'autocontrôle transmises par le bureau d'études CERT Structure aux metteurs en œuvre du système.

Dans les deux cas, la distance minimale entre le nu du connecteur et le bord de la poutre en bois est fixée à 2,5 cm dans le cas de mise en œuvre sur solives et de 4 cm dans le cas de mise en œuvre sur poutres maîtresses.

#### Caractéristiques mécaniques des connecteurs SBB :

Les connecteurs CERT / ARS sont en acier doux au carbone de limite à la rupture garantie de 350 MPa et de limite élastique de 200 MPa. Leur ductilité leur confère une capacité de pliage à 90° sans rupture.

### D Connecteur D-Dalle :

Dans le cas de la D-Dalle, le décalage des planches formant le rail supérieur, offre une possibilité d'appui de la section béton très facilement réalisable par l'interposition d'une plaque d'acier, posée transversalement par rapport aux planches supérieures de l'interface. Pour la mise en œuvre, la dalle bois est sciée transversalement pour recevoir le connecteur selon figure 24.

Pour améliorer l'encastrement de la partie béton, cette plaque d'acier est perforée, selon la figure 24, de façon à enclaver le béton dans cette zone et bloquer ainsi les glissements horizontaux et verticaux

Pour assurer encore mieux la reprise des efforts d'ouverture de la section composée (traction verticale), la plaque métallique est en forme de L pour être vissée sur les champs des planches supérieures.

Le nombre de plaques métalliques mis en œuvre sur la longueur de la dalle (sur la portée totale) dépend du flux d'efforts de cisaillement à reprendre.

Les connecteurs sont disposés en priorité proches des appuis, dans les zones de flux de cisaillement maximum.

Un connecteur est toujours disposé à mi-travée, non plus pour le cisaillement mais pour l'intégrité de la section mixte.

Des plaques métalliques peuvent être rajoutées, au cas par cas, quand il y a un besoin d'améliorer l'isotropie de la dalle et permettre ainsi des structures intégrant un chevêtre caché pour dévier un flux d'effort latéralement, par exemple, dans le cas d'une poutre d'appui discontinue.



Fig.II.15 : connecteurs une fois fixés à la dalle

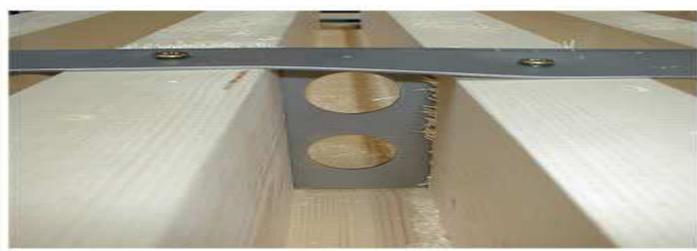


Fig.II.16 : Détail des percements dans le connecteur pour permettre d'enclaver le béton dans la dalle bois.

**CHAPITRE III :**

**VÉRIFICATION DU SYSTÈME DE**

**CONNEXION DU PLANCHER MIXTE**

**BOIS-BETON**

## **CHAPITRE III : VERIFICATION DU SYSTEME DE CONNEXION DU PLANCHER MIXTE BOIS-BETON**

Dans ce chapitre on présentera le système mixte Bois-Béton en le modélisant en une poutre en « Té », ainsi que l'on vérifie vis-à-vis le glissement selon les règles d'**Eurocode5** à l'aide d'un programme **Excel**.

### **III.1 INTRODUCTION :**

Afin de vérifier le plancher mixte Bois-Béton on se fera aux normes de l'**Eurocode5** dont on doit satisfaire les exigences de l'**Eurocode5**

### **III.2 PRESENTATION GENERALE DE L'EUROCODE5 :**

Résumé : Européens Normes 1995 s'applique au calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil en bois (bois massif, scié, raboté ou sous forme de poteau, bois lamellé collé ou produits structuraux à base de bois, par exemple LVL) ou panneaux à base de bois assemblés avec des adhésifs ou des organes mécaniques. Il est conforme aux principes et exigences relatifs à la sécurité et l'aptitude au service des structures, ainsi qu'aux bases de calcul et vérification données dans EN 1990:2002.- EN 1995 traite uniquement des exigences relatives à la résistance mécanique, l'aptitude au service, la durabilité et la résistance au feu des structures en bois. D'autres exigences, par exemple concernant l'isolation thermique ou acoustique, ne sont pas considérées.- EN 1995 est destiné à être utilisé conjointement avec :EN 1990:2002 «Eurocode- Bases de calcul des structures» EN 1991 «Actions sur les structures» Les EN pour les produits de construction relatifs aux structures en bois EN 1998 «Calcul des structures pour la résistance aux tremblements de terre», lorsque les structures en bois sont construites dans des régions sismiques.- EN 1995 est divisé en deux parties :EN 1995-1 Généralités EN 1995-2 Ponts- EN 1995-1 «Règles générales» comprend : EN 1995-1-1 Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments EN 1995-1-2 Généralités - Calcul

des structures au feu- EN 1995-2 se réfère aux règles communes de EN 1995-1-1. Les articles de EN 1995-2 sont complémentaires aux articles de EN 1995-1.

Descripteurs : bois, structure en bois, bâtiment, génie civil, bois scie, bois lamellé-collé, produit en bois, panneau à base de bois, poutre, poteau, conception, calcul, vérification, symbole, exigence, fiabilité, déformation, limite, résistance des matériaux, contrainte, contrainte de cisaillement, durabilité, résistance aux organismes, résistance a la corrosion, assemblage, boulon, tirefond, connecteurs, crampon, plaque métallique et assemblage colle

### III.3 EXIGENCES FONDAMENTALES :

- (1)P Une structure doit être calculée et réalisée de telle manière :
  - qu'avec une probabilité acceptable, elle reste apte à l'utilisation pour laquelle elle a été prévue, compte tenu de sa durée de vie envisagée et de son coût, et
  - qu'avec des degrés appropriés de fiabilité, elle puisse résister à toutes les actions et autres influences susceptibles de s'exercer aussi bien pendant l'exécution que durant son exploitation et qu'elle ait une durabilité convenable au regard des coûts d'entretien.
- (2)P Une structure doit également être conçue et dimensionnée de manière qu'elle ne puisse pas être endommagée par des événements tels qu'explosions, chocs ou conséquences d'erreurs humaines.
- (3)P Il convient de limiter ou d'éviter l'endommagement potentiel par le choix d'une ou plusieurs des solutions suivantes:
  - éviter, éliminer ou réduire les dangers potentiels auxquels la structure pourrait être exposée,
  - choisir un type de structure peu sensible aux dangers potentiels à prendre en considération,
  - choisir le type et la conception de la structure de manière qu'elle subsiste malgré l'enlèvement accidentel d'un de ses éléments,
  - liasonner les éléments de structure entre eux.
- (4)P Pour satisfaire les exigences énoncées ci-dessus, on doit choisir convenablement les matériaux, définir une conception, un dimensionnement et des détails constructifs appropriés, et spécifier des

procédures de contrôle adaptées au projet considéré, au stade de la production, de la construction et de l'exploitation.

### III.4 PRESENTATION GLOBALE DU PLANCHER MIXTE :

Le principe de la mise en œuvre des planchers mixtes Bois-Béton est représenté dans la figure suivante. Les poutres mise en œuvre sont en générale isostatiques, mais il arrive parfois que des poutres continues, permettent une plus grande portée, soient préférées.

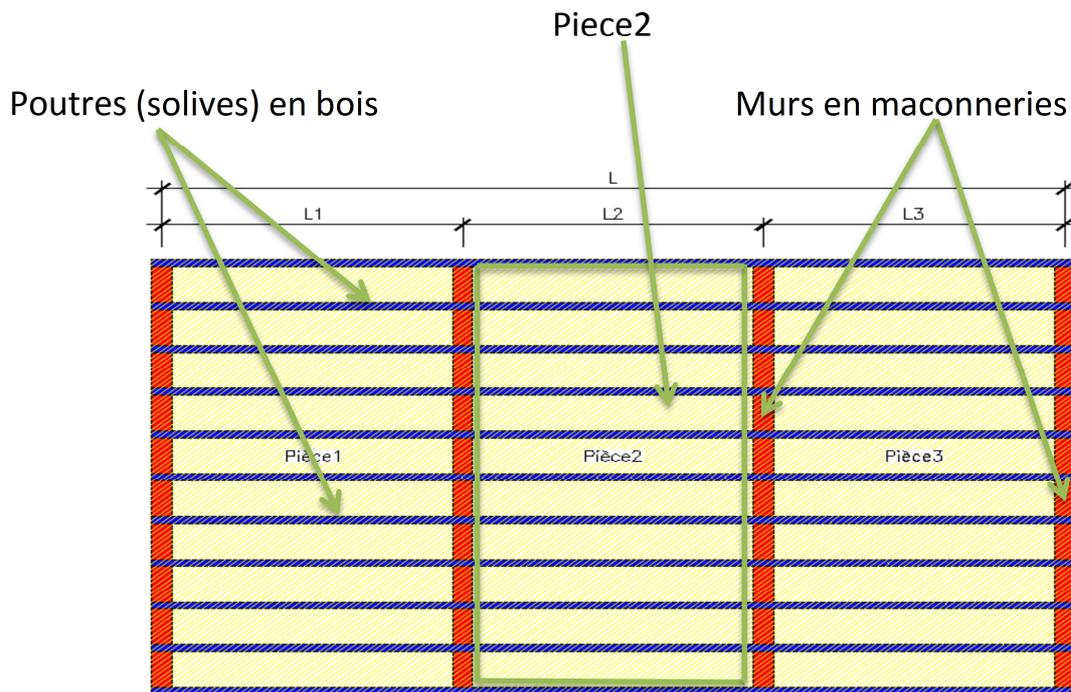


Fig.III.1 : Plancher mixte (vue en plan)

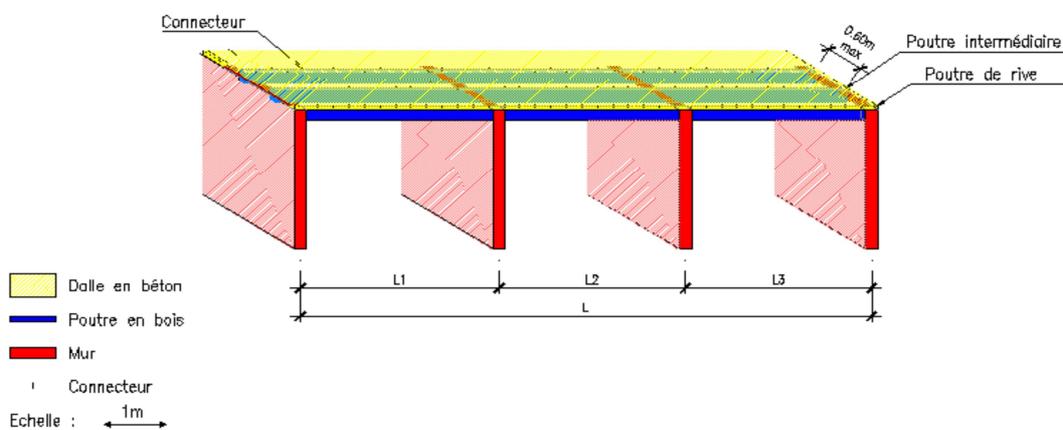


Fig.III.2 : Plancher mixte vue en 3D

### III.4.2 PRESENTATION DES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DU PLANCHER MIXTE BOIS-BETON :

Les différentes caractéristiques des matériaux qui forment le plancher mixte seront portés dans le tableau suivant :

<b>Matériaux</b>	<b>Caractéristiques</b>	<b>Symbole</b>	<b>Valeur</b>	<b>Unité</b>
<b>Béton</b>	Largeur	$b_1$	600	mm
	Largeur efficace	$b_{eff}=\min (2l_0/8,b_1)$	600	mm
	Hauteur	$h_1$	70	mm
	Module d'élasticité en flexion	$E_{béton}$	31000	Mpa=N/mm2
	Résistance en compression	$f_{c28}$	25	Mpa=N/mm2
	Coefficient de sécurité partiel du béton	$g_b$	1.5	–
	Masse volumique du béton légèrement arme	$\rho$	2500	Kg/m3
	Aire	$A_{béton}$	4200	mm2
	Inertie	$I_{béton}=(b_1 \times h_1^3)/12$	$1,72 \times 10^7$	mm4
	Rigidite	$E_{béton} I_{béton}$	$5,32 \times 10^{11}$	N/mm2
<b>Bois</b>	Largeur	$b_0$	100	mm
	Portée	$L$	1000	mm
	Hauteur	$h_0$	150	mm
	Module d'élasticité en flexion	$E_{0,moyen}$	10700	Mpa=N/mm2
	Valeur de résistance a la flexion	$f_{m,k}$	24	Mpa=N/mm2
	Valeur de résistance a la traction	$f_{t,0,k}$	14	Mpa=N/mm2
	Valeur de résistance au cisaillement	$f_{v,k}$	2,50	Mpa=N/mm2
	Coefficient de sécurité partiel du bois massif	$g_{m,b}$	1,30	–
	Aire	$A_{bois}=b_0 \times h_0$	$1,50E+04$	mm2
	Inertie	$I_{bois}=(b_0 \times h_0^3)/12$	$2,81E+07$	mm4
	Rigidité	$E_{bois} I_{bois}$	$3,09E+11$	Nmm2
	Masse volumique moyenne	$\rho_{moyen}$	$4,20E+02$	Kg/m3
<b>Connecteur</b>	Diamètre	$d$	$8,00E+00$	mm
	distance entre connecteurs	$s$	300	mm
	Module de glissement a ELS	$K_{ser}$	$1,79E+04$	Mpa=N/mm2
	Module de glissement a ELU	$K_u=2/3 K_{ser}$	$1,19E+04$	Mpa=N/mm2
	Résistance caractéristique	$P_{RK}$	$1,00E+04$	N

Tab.III.1 : valeurs caractéristiques des éléments composant le plancher

Voici un aperçu d'une poutre en « Té » d'un plancher mixte Bois-Béton :

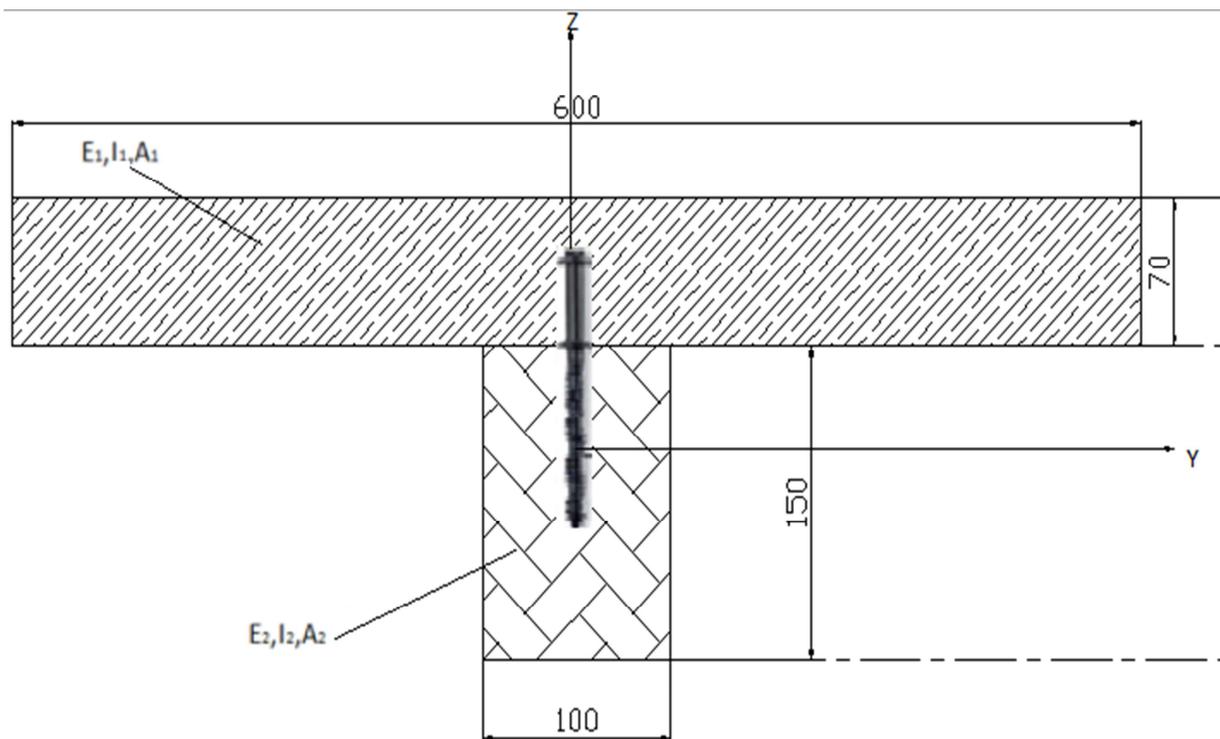


Fig.III.3 section transversale d'un plancher mixte

### III.5 Vérification du système de connexion vis-à-vis le glissement :

#### III.5.1 Hypothèse de calcul :

En général, tandis que les poutres en bois sont isostatiques la dalle de compression reste continue pour simplifier l'étude, on considèrera le système isostatique

La méthode utilisée est la méthode «  $\gamma$  » développée dans l'**Eurocode5**.

- Une loi de comportement élastique linéaire est considérée pour le béton le bois et les connecteurs.
- Les poutres sont isostatique avec une portée "l" entre appuis. Pour les poutres continues les formules peuvent être utilisées en prenant "l" égale a 0.8 de la portée correspondante, pour les travées en en porte à faux avec "l" équivalent au double du porte à faux.
- Les composants (en bois ou panneaux à base de bois) sont soit d'une seule longueur, soit obtenus par aboutages collés.

- Les composants sont assemblés entre eux par des organes d'assemblage dont le module de glissement est "k".
- L'espacement "s" entre les organes d'assemblage est constant ou varie uniformément en fonction de l'effort de cisaillement entre deux valeurs  $s_{MIN}$  et  $s_{MAX}$  avec  $s_{MAX} \leq 4s_{MIN}$ .
- le plancher mixte est uniformément chargé.
- La charge est appliquée dans la direction z et engendre un moment "M=M(x)" et un effort de cisaillement "V=V'(x)".
- le plancher mixte est représenté par une juxtaposition de poutres reconstituées en « T » simplement appuyée.
- le béton est entièrement sollicité, aussi, une armature métallique devra être calculée pour reprendre les efforts de traction.

### III.5.2 Les déformations dues aux moments de flexion :

L'exemple de calcul du « Glissement », dans un plancher mixte Bois – Béton donné ci-après est une méthode conforme à l'**Eurocode5 Annexe B**. De fait, les valeurs issues de ce document permettent d'établir des notes de calcul selon les règles définies par les Eurocodes. On exprimera les résistances en efforts admissibles en utilisant :

D'abord :

Calcul des descentes des charges :

Le poids propre des solives bois :

$$g_{bois} = \rho_{bois} * A_{bois} * 1$$

$$AN : g_{bois} = 420 * 1.5 * 10^{-2} * 2 * 10 = 6.30 \text{ N/m}$$

Le poids propre du béton :

$$g_{béton} = \rho_{béton} * A_{béton} * b_0$$

$$AN : g_{béton} = 2500 * 4.2 * 10^{-2} * 10 = 630 \text{ N/m}$$

La charge permanente due au poids propre vaut donc :

$$G_{k,1} = g_{béton} + g_{bois}$$

$$=630+6.3=636.3 \text{ N/m}$$

La surcharge permanente comprenant une chape de 4cm en mortier de ciment de  $20000 \text{ n/m}^3$  et un revêtement de sol de type carrelage de  $0.5 \text{ kn/m}^2$ , soit :

$$G_{k,2}=0.6*(0.04*20000+500)$$

$$=780 \text{ n/m}^3$$

La charge permanente totale :

Soit  $G_{\text{tot}}$  la charge permanente totale

$$\text{Avec } G_{\text{tot}} = G_{k,1}+G_{k,2}=636.3+780$$

$$G_{\text{tot}} =1416.3 \text{ N/m}$$

La charge variable d'exploitation (pour un bâtiment résidentiel, classe 1 selon l'EN 1991-1-1), est :

$$Q_{k,A}=2000 \text{ N/m}^2 \text{ (Tab.3.2 de l'EC2)}$$

$$Q_{k,1}=b_{\text{eff}}*Q_{k,A}$$

$$Q_{k,1} =0.6*2000=1200 \text{ N/m}^2$$

Combinaisons de charges :

Combinaisons d'action en situation durable et transitoire "ELU" :

$$F_{\text{ELU}}=1.35*G_{\text{tot}}+1.5*Q_{k,1}$$

$$F_{\text{ELU}}= 3712 \text{ N/m}$$

Combinaisons d'action caractéristique "ELS-C" :

$$F_{\text{ELS}}=G_{\text{tot}}+Q_{k,1}$$

$$=1416.3+1200$$

$$F_{\text{ELS}}=2620 \text{ N/m}$$

Calcul des sollicitations a ELU :

1. Calcul du moment sollicitant maximum :

Comme les poutres soient isostatiques, le moment de flexion (à mi- travée) à l'ELU "M<sub>u</sub>" vaut :

$$M_u = F_{ELU} \cdot l^2 / 8$$

La rigidité efficace en flexion, notée (EI)<sub>eff</sub>, d'un élément de poutre en « Té » se calcule selon le point B.2 de l'annexe B de l'EC5.1.1 :

$$(EI)_{eff} = \sum_{i=1}^n (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

Avec :

E<sub>i</sub> : Module d'élasticité (Module de Young) moyen en flexion

I<sub>i</sub> : Inertie de l'élément 'i'

γ<sub>i</sub> : Coefficient de glissement entre le matériau et le connecteur

A<sub>i</sub> : Section de l'élément 'i'

a<sub>i</sub> : Distance entre le CDG de l'ensemble et le CDG de l'élément 'i'

Donc la rigidité efficace de la poutre vaut :

$$(EI)_{eff} = (E_{béton} \cdot I_{béton} + E_{bois} \cdot I_{bois} + \gamma_1 \cdot E_{béton} \cdot A_{béton} \cdot a_1^2 + \gamma_2 \cdot E_{bois} \cdot A_{bois} \cdot a_2^2)$$

Ou :

$$I_{béton} = \frac{b_{béton} \cdot h_{béton}^3}{12} \quad \text{avec } b_{béton} = b_{eff} = \min \left( 2 \frac{l_0}{8}, b_1 \right)$$

$$\gamma_1 = \left( 1 + \frac{\pi^2 E_t A_t S_t}{K_t l^2} \right)^{-1}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$A_{béton} = b_{eff} \cdot h_{beton}$$

**NB : La largeur participante a été déterminée par l'Eurocode4, paragraphe 4.2.2**

$$A_{\text{bois}} = b_{\text{bois}} \cdot h_{\text{bois}}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_{\text{béton}} + h_{\text{bois}})}{2 \cdot \sum_{i=1}^2 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$$

$$a_1 = \frac{h_{\text{béton}} + h_{\text{bois}}}{2} - z_G$$

$$z_G = \frac{h_{\text{bois}}}{2} + a_2$$

Les contraintes normales due au au moment de flexion:

Les contraintes normales se calculent de la facon suivante selon le point B.3 de l'annexe B de l'EC5.1.1 :

Contrainte normale a l'axe median :

$$\sigma_{N,1} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot M}{EI_{\text{eff}}}$$

Contrainte de compression sur les faces extreme :

$$\sigma_{M,1} = \frac{0.5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot M}{EI_{\text{eff}}}$$

Fibre supérieure du béton :

$$\sigma_{\text{béton sup}} = \sigma_{N,1} + \sigma_{M,1}$$

Fibre inferieur du béton :

$$\sigma_{\text{béton sup}} = \sigma_{N,1} - \sigma_{M,1}$$

Les contraintes normales dans le béton:

$$\sigma_{M,2} = \frac{0.5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot M}{EI_{\text{eff}}}$$

Fibre supérieure du bois :

$$\sigma_{\text{bois sup}} = \sigma_{N,2} - \sigma_{M,2}$$

Fibre inferieur du bois :

$$\sigma_{\text{bois sup}} = \sigma_{N,2} + \sigma_{M,2}$$

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Symbole	Valeur	Unité
Position entre le centre de gravite	a1	1,58E-02	m
Position entre le centre de gravite	a2	9,42E-02	m
Module de glissement béton connecteur	$\gamma_1$	7,56E-01	–
Module de glissement bois connecteur	$\gamma_2$	1,00E+00	–
Rigidité effective	$E_{\text{eff}}$	8.150E+06	Nm
Combinaison de charges ELU	FELU	3,71E+03	N/m
Combinaison de charges ELS	FELS	2,62E+03	N/m
Moment ultime	MELU	4,64E-07	KNm
Contrainte de compression sur la face supérieure de béton	$\sigma_{1,M}$	6,18E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte normale à l'axe médiane	$\sigma_{1,N}$	2,11E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte dans la fibre sup du béton	$\sigma_{1,\text{sup}}$	8,28E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte dans les fibres inf. du béton	$\sigma_{1,\text{inf}}$	4,07E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte de flexion (sur la face inferieur)	$\sigma_{2,M}$	4,70E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte normale a l'axe médiane	$\sigma_{2,N}$	5,90E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte dans la fibre sup du bois	$\sigma_{2,\text{sup}}$	-1,20E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte dans les fibres inf. du bois	$\sigma_{2,\text{inf}}$	1,06E+02	pa=N/m <sup>2</sup>

Tab.III.2 : Résultats des efforts internes selon l'EC5.1.1

Diagramme des contraintes :

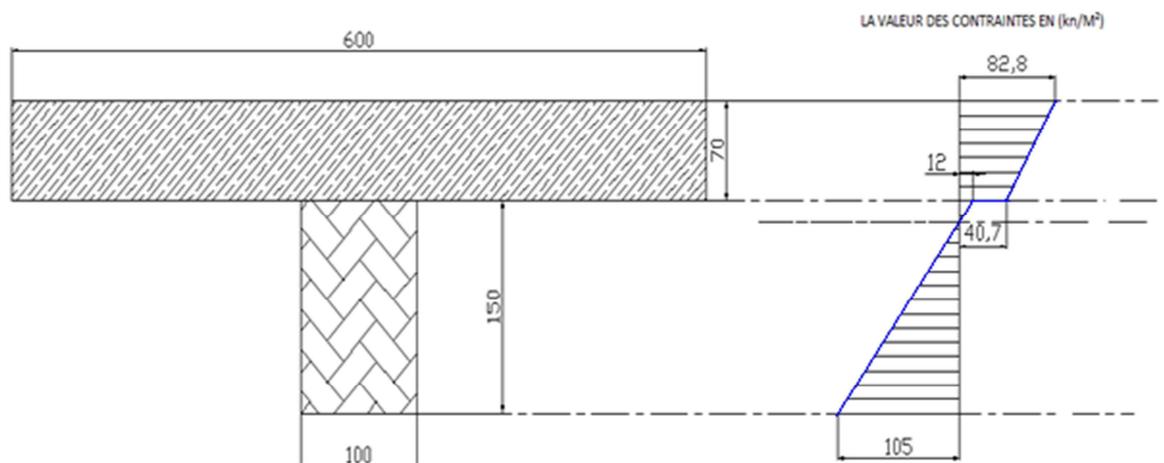


Fig.III.4 : distribution des contraintes dans un plancher mixte bois-béton

Vérification du taux de contrainte dans les matériaux béton et bois sous flexion positive à court terme :

Le principe de calcul consiste à additionner respectivement, dans les deux fibres extrêmes la section du plancher, les contraintes normales de flexion calculées précédemment. La vérification des contraintes normales dans bois et dans béton peut alors être réalisée comme ci-après.

Résistance du béton suivant l'EC2

- Compression maximale dans le béton (fibre sup)

$$\sigma_{\text{bois, sup}} \leq f_{c,d}$$

$$\text{Avec : } f_{c,d} = \frac{0.83 f_{c28}}{\gamma_b}$$

- Traction maximale dans le béton (fibre inf)

$$\sigma_{\text{bois, inf}} \leq f_{t,d}$$

$$\text{Avec : } f_{t,d} = \frac{0.85 f_{t28}}{\gamma_b}$$

Résistance du bois suivant l'EC5 :

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

$$\text{Avec : } k_{\text{mod}} = 0.6$$

$k_{\text{mod}}$  : coefficient modificatif vis-à-vis les actions variable, est donne dans le (Tab.3.7.1 de l'EC5.1.1)

Vérification du bois :

$$\frac{\sigma_{2,N}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{2,M}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Les résultats de vérification sont portés dans le tableau suivant :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Symbole</i>	<i>valeur</i>	<i>unité</i>
contrainte dans les fibres sup du béton	$\sigma_{1,sup}$	8,28E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres inf. du béton	$\sigma_{1,inf}$	4,07E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres sup du bois	$\sigma_{2,sup}$	-1,20E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres inf. du bois	$\sigma_{2,inf}$	1,06E+02	pa=N/m <sup>2</sup>
Résistance en compression	$f_{c28}$	2,50E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Résistance en traction	$f_{t28}$	1,50E+06	pa=N/m <sup>2</sup>
Coefficient de sécurité partiel du béton	$\gamma_b$	1,50E+00	/
Contrainte admissible à la compression	$f_{c,d}$	1,38E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte admissible à la traction	$f_{t,d}$	8,50E+05	pa=N/m <sup>2</sup>
vérification en compression	$\sigma_{1,sup} \leq f_{c,d}$	<b>critère ok</b>	/
vérification en traction	$\sigma_{1,inf} \leq f_{t,d}$	<b>critère ok</b>	/
Valeur de résistance à la flexion	$f_{m,k}$	2,40E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Valeur de résistance à la traction	$f_{t,0,k}$	1,40E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Coefficient modificatif	$k_{mod}$	8,00E-01	/
Contrainte admissible	$f_{m,d}$	1,108E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Contrainte admissible	$f_{t,d}$	8,462E+06	pa=N/m <sup>2</sup>
vérification	$\sigma_{2,N}/f_{t,d} + \sigma_{2,M}/f_{m,d} \leq 1$	<b>critère ok</b>	/

Tab.III.3 : vérification des contraintes à court terme

Vérification du taux de contrainte dans les matériaux béton et bois sous flexion positive à long terme :

Le calcul est le même que pour la vérification à court terme, a cette différence près que l'on remplace les modules d'élasticité finaux prenant en compte le fluage des deux matériaux dans le temps, et que l'on adapte le module de glissement (voir l'EC5 p2.3.2.2)

$$E_{\text{béton,final}} = \frac{E_{\text{béton}}}{1 + \psi_{\infty,t0}}$$

Avec:

$$\psi_{\infty,t0} = 2$$

$$E_{\text{bois,final}} = \frac{E_{\text{bois}}}{1 + \Psi_2 + k_{\text{def}}}$$

Avec :

$\Psi_2 = 0.25$  pour les bâtiments à usage d'habitation (Tab.2.2.2.3 de l'EC5.1.1).

$K_{\text{def}} = 0.6$  pour les charges permanente classe de service 1 (Tab.4.1.1 de l'EC5.1.1).

**Remarque :** le coefficient  $\Psi_2$  est un coefficient pondérateur qui permet de calculer la valeur quasi-permanente de l'action générant la plus grande contrainte eu égard à la résistance (si cette action est une action permanente, il convient de remplacer  $\Psi_2$  par 1) – voir Eurocode5-1-1 (2004) - § 2.3.2.2. Les valeurs de ce coefficient sont données dans l'Eurocode0 (2002).

La valeur du module de glissement  $\gamma_1$  se calcule comme suit :

$$\gamma_1 = \left(1 + \frac{\pi^2 E_t A_t S_t}{K_{\text{ser}} l^2}\right)^{-1}$$

Avec :

$$K_{\text{ser}} = \rho^{1.5} \cdot D / 20$$

$\rho$  : Masse volumique moyenne du Bois en  $\text{kg/m}^3$

D : diamètre du connecteur en mm

Les valeurs de la vérification des contraintes sont mentionnées dans le tableau suivant :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Symbole</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Module de glissement à ELS selon l'EC5 du connecteur	$k_{ser,EC5}$	3,44E+09	N/m <sup>2</sup>
Module de glissement à ELU selon l'EC5 du connecteur	$k_{u=2/3} k_{serEC5}$	2,30E+09	N/m <sup>2</sup>
position entre le centre de gravite	$a_1$	2,79E-02	m
position entre le centre de gravite	$a_2$	8,21E-02	m
Module de glissement béton connecteur	$\gamma_1$	3,73E-01	/
Module de glissement bois connecteur	$\gamma_2$	1,00E+00	/
Rigidité effective	$E I_{eff}$	1,09E+07	Nm <sup>2</sup>
combinaison de charges ELU	FELU	3,71E+03	N/m
Moment ultime	$M_{ELU}$	4,64E-07	KNm
contrainte de compression sur la face sup de béton	$\sigma_{1,M}$	4,60E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte normale à l'axe médiane	$\sigma_{1,N}$	1,37E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte de flexion (sur la face inferieur)	$\sigma_{2,M}$	3,50E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte normale à l'axe médiane	$\sigma_{2,N}$	3,83E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres sup du béton	$\sigma_{1,sup}$	5,97E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres inf. du béton	$\sigma_{1,inf}$	3,23E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres sup du bois	$\sigma_{2,sup}$	3,32E+00	pa=N/m <sup>2</sup>
contrainte dans les fibres inf. du bois	$\sigma_{2,inf}$	7,33E+01	pa=N/m <sup>2</sup>
Résistance en compression	$f_{c28}$	2,50E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Résistance en traction	$f_{t28}$	1,50E+06	pa=N/m <sup>2</sup>
Coefficient de sécurité partiel du béton	$\gamma_b$	1,50E+00	/
$f_{c28}$ modifie	$f_{c,d}$	1,38E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
$f_{t28}$ modifie	$f_{t,d}$	8,50E+05	pa=N/m <sup>2</sup>
vérification en compression	$\sigma_{1,sup} \leq f_{c,d}$	<b>critère ok</b>	/
vérification en traction	$\sigma_{1,inf} \leq f_{t,d}$	<b>critère ok</b>	/
Valeur de résistance a la flexion	$f_{m,k}$	2,40E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
Valeur de résistance a la traction	$f_{t,0,k}$	1,40E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
coefficient modificatif	$k_{mod}$	8,00E-01	/
$f_{m,k}$ modifie	$f_{m,d}$	1,48E+07	pa=N/m <sup>2</sup>
$f_{t,0,k}$ modifie	$f_{t,d}$	8,615E+06	pa=N/m <sup>2</sup>
vérification	$\sigma_{2,N}/f_{t,d} + \sigma_{2,M}/f_{m,d} \leq 1$	<b>critère ok</b>	/

Tab.III.4 : vérification des contraintes à long terme.

Vérification de l'effort tranchant dans le bois à court terme :

On considère que la totalité de l'effort tranchant est reprise par le matériau bois (voir hypothèse du modèle, § 4.5). Il convient de vérifier que la contrainte de cisaillement vertical de calcul de  $\tau_{z,d}$  ne dépasse pas la résistance de calcul au cisaillement du bois  $f_{v,d}$ , soit :

$$\tau_{MAX} = \frac{E_{bois} \cdot h_{bois}^2}{2 \cdot EI_{eff}} \cdot V$$

Avec :

$$V = \frac{f_{ELU}}{2}$$

Et :

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,0,k}}{\gamma_{m,b}}$$

La vérification est la suivante :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Symbole</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Rigidité effective	$E_{I_{eff}}$	8,15E+06	Nm <sup>2</sup>
Effort tranchant maximale	$V_d$	1,86E+03	N
Effort de cisaillement maximal	$\tau_{z,d}$	1,25E+05	N
Effort de cisaillement induit sur les connecteurs	$F_d$	1,06E+03	N
valeur de cisaillement admissible	$f_{v,d}$	1,15E+06	N
vérification de l'effort de cisaillement	$\tau_{z,d} \leq f_{v,d}$	<b>critère ok</b>	/

Tab.III.5 : Valeurs de calcul et de la vérification l'effort tranchant et effort de cisaillement

Etant donné que l'on suppose que le bois reprend seul l'effort de cisaillement, il n'est pas nécessaire de vérifier le critère de cisaillement dans le bois à long terme (pas de modification par rapport au court terme)

Vérification du taux de chargement dans les connecteurs à court terme :

La charge de calcul  $F_{v,Ed}$  agissant sur un connecteur doit être inférieure à la valeur de calcul de la capacité résistante  $P_{Rd}$  du connecteur, soit :

$$F_{v,Ed} = \frac{\gamma_1 \cdot E_{\text{béton}} \cdot A_{\text{béton}} \cdot a_2 \cdot S_c}{EI_{\text{eff}}} \cdot V$$

Vérification :

$$F_{v,Ed} \leq P_{rd}$$

Avec :

$$P_{rd} = \frac{P_{rk}}{\gamma_m}$$

Résultat :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Symbole</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Effort tranchant maximale	$v_d$	1,86E+03	N
Effort de cisaillement maximal	$\tau_{z,d}$	1,86E+05	N/mm
Effort de cisaillement induit sur les connecteurs	$F_d$	1.06E+03	N
Résistance caractéristique de dimensionnement	$P_{Rd}$	7.69E+03	N
vérification	$F_d \leq p_{rd}$	<b>critère ok</b>	/

Tab.III.6 : Valeurs de l'effort de cisaillement revenant au connecteur.

Comme on s'intéresse à l'interface de la poutre mixte Bois-Béton ce qui nous amène à étudier le glissement à l'interface, les deux contraintes obtenues précédemment pour Béton ainsi que pour le Bois nous permettent pas d'avoir un résultat voulu (courbe contraintes glissement à l'interface) et pour cela on doit homogénéiser la poutre.

### III. 5.3 Homogénéisation de la poutre Bois-Béton :

On calcule un coefficient d'équivalence  $n$  qui permet de transformer la section de béton en une section de bois équivalente. Ce coefficient sera multiplié aux caractéristiques mécaniques.

$$n = \frac{E_{\text{béton}}}{E_{\text{bois}}}$$

En tenant compte du glissement  $\gamma$ , on obtient une section effective qui permet de calculer les contraintes subies par le béton et le bois. Pour cela, il faut connaître les caractéristiques suivantes.

➤ Sections du Béton et du Bois :

$$A_{\text{béton}} = b_{\text{béton}} * h_{\text{béton}}$$

$$A_{\text{bois}} = b_{\text{bois}} * h_{\text{bois}}$$

➤ Section efficace :

$$A_{\text{eff}} = n * \gamma * A_{\text{béton}} + A_{\text{bois}}$$

➤ Position de centre de gravité :

$$Z_G = [(\gamma * n * A_{\text{béton}} * h_{\text{béton}}/2) + (A_{\text{bois}} * (h_{\text{béton}} + h_{\text{bois}}/2))]$$

➤ Distance entre le CDG et les axe du Béton et du Bois :

$$e_{\text{bois}} = Z_G - h_{\text{bois}}/2$$

$$e_{\text{béton}} = h_{\text{bois}} + h_{\text{béton}}/2 - Z_G$$

➤ Inertie équivalente :

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{béton}} + n * e_{\text{béton}}^2 * A_{\text{béton}} + I_{\text{bois}} + A_{\text{bois}} * e_{\text{bois}}^2$$

➤ Contraintes de la section mixte efficace :

$$\sigma_i = \frac{M_u * y}{I_{\text{eff}}} \text{ (equation de navier)}$$

Avec :

$y$  : distance entre le CDG et le point étudié

Calcul du glissement de l'assemblage :

Le glissement instantané vaut :

$$U_{\text{inst}} = F_d / K_{\text{ser}}$$

Le glissement instantané corrigé vaut :

$$U_{\text{fin}} = U_{\text{inst}} * (1 + k_{\text{def}})$$

$$K_{\text{def}} = 0.6$$

les resultats sont les suivant :

<i>Caractéristiques</i>	<i>Symbole</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Section efficace	$a_{eff}$	1,07083E-01	m <sup>2</sup>
Centre de gravité d'une section efficace	$z_{g-eff}$	8,69691E-02	m
Ebéton	$e_1$	9,80309E-02	m
Ebois	$e_2$	1,19691E-02	m
Inertie efficace	$I_{eff}$	3,52569E-04	m <sup>4</sup>
Fibre inf	$\sigma_{inf}$	1,14456E+05	N/m <sup>2</sup>
Fibre sup	$\sigma_{sup}$	1,75076E+05	N/m <sup>2</sup>
Contrainte à l'interface	$\sigma_{interface}$	8,29522E+04	N/m <sup>2</sup>
Effort de cisaillement induit sur les connecteurs	$F_d$	1.06197E+03	N
Glissement final	$U_{fin}$	4.935E-01	mm

Tab.III.7 :Valeurs des contraintes de la section homogénéisée.

La distribution des contraintes de la section homogeneisee de la poutre est la suivante :

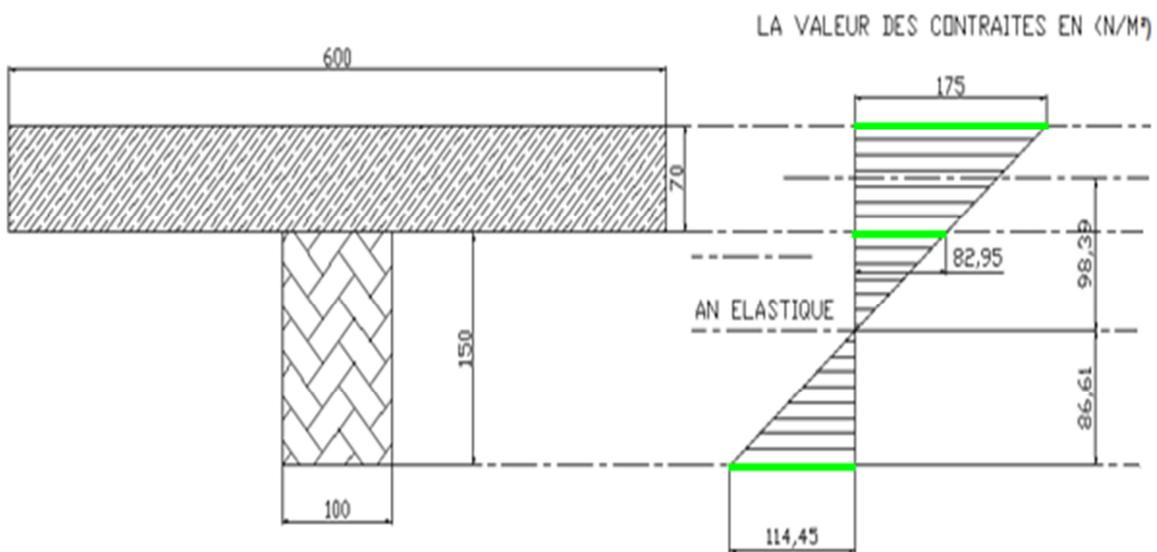


Fig.III.5 : Diagramme des contraintes d'une section homogénéisée.

### Courbe Contrainte-Glissement :

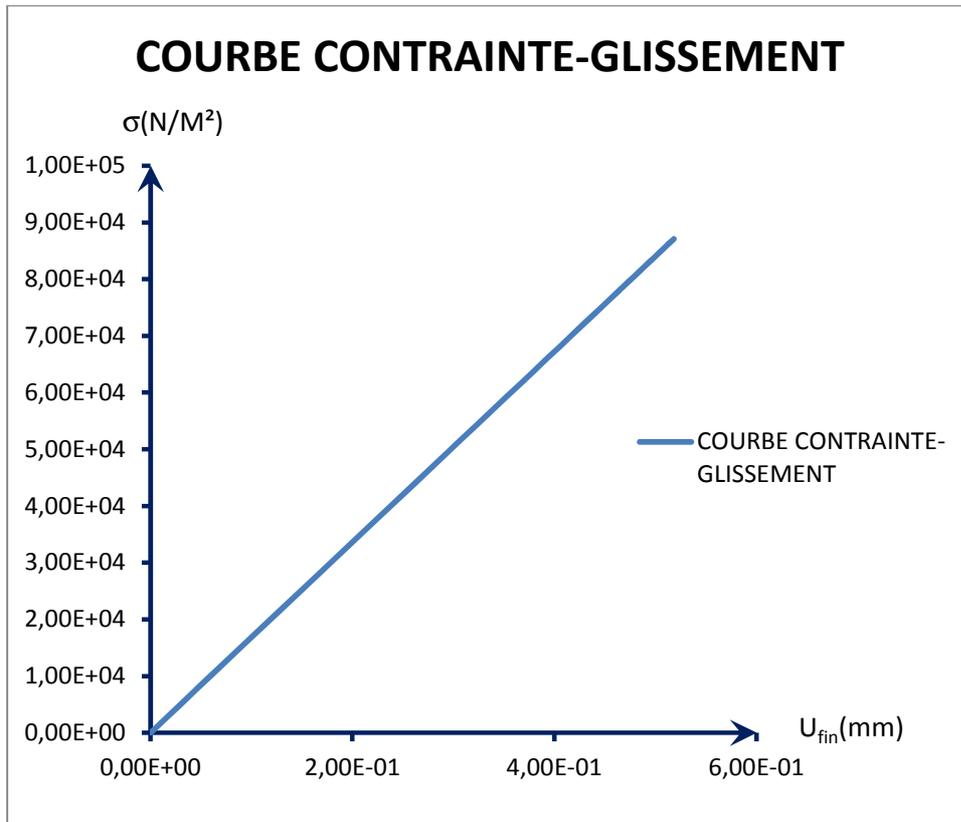


Fig.III.6 : courbe des Contraintes-Glissement théorique a l'interface de la section mixte.

#### Commentaire :

La courbe obtenue représente l'allure théorique du diagramme contrainte-glissement a l'interface de la poutre mixte, elle suit un comportement élastique parfait de la fonction suivante  $\sigma_{interface} = E \cdot U_{fin}$ . Avec un glissement final de valeur egale a  $U_{fin}=4.935E-01$  mm, engendré par la contrainte de  $\sigma_{interface}=8,29522E+04$  N/M<sup>2</sup>.

Le glissement max est très faible. Ce qui signifie que les connecteurs utilisés pour ce système de connexion est fiable.

### III.5.4 Etude comparative entre la courbe obtenue par la simulation numérique "Abaqus" et la courbe obtenue par l'Eurocode5.1.1 :

Courbe contrainte glissement numérique :

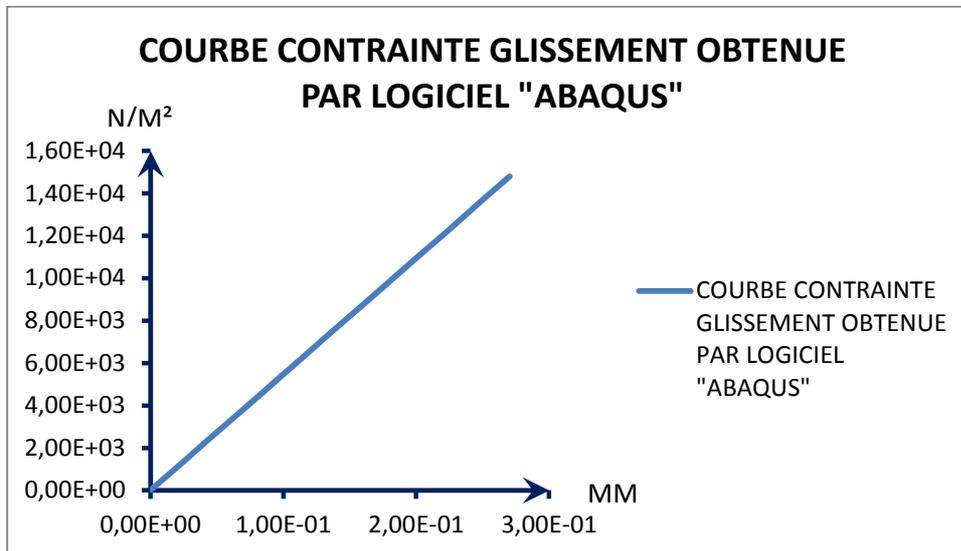


Fig.III.7 : courbe des Contraintes-Glissement numérique à l'interface de la section mixte.

Comentaire :

La courbe de la simulation numérique représente l'allure du diagramme contrainte-glissement à l'interface de la poutre mixte, elle suit un comportement élastique parfait, de la fonction  $\sigma = E U$ .

Le glissement max est très faible, il est d'ordre de "0.170 mm" pour la contrainte max de la valeur de " $1.48 * 10^4 \text{ N/m}^2$ ".

Superposition des deux courbes et comparaison :

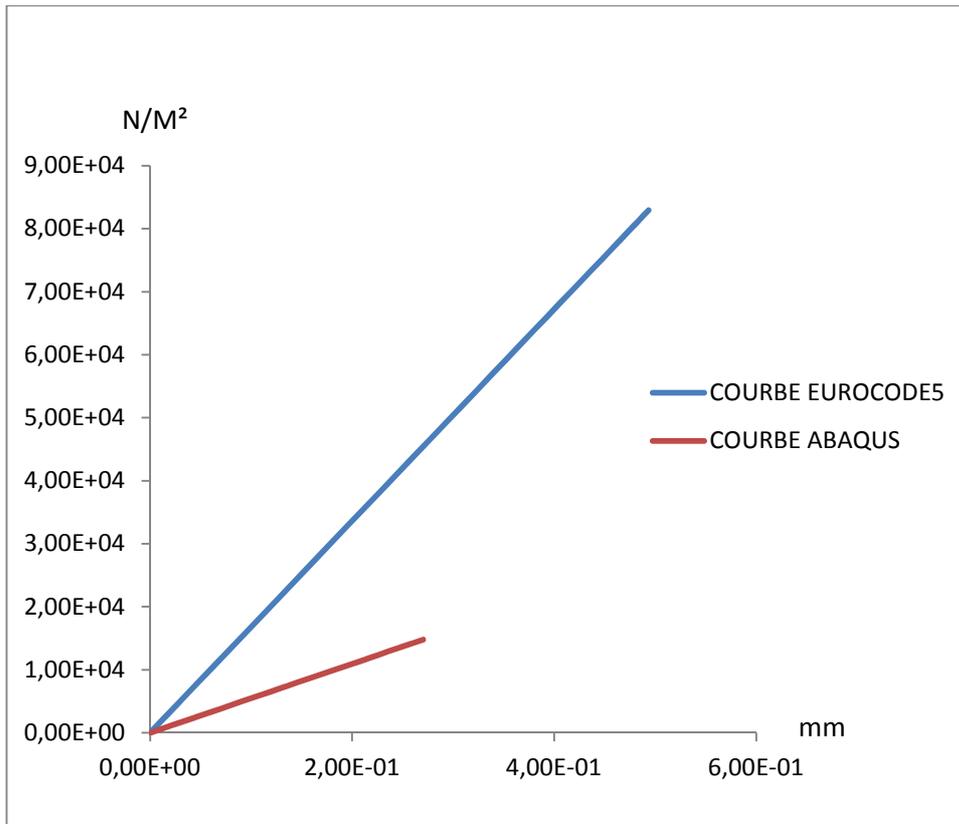


Fig.III.8 : superposition des deux courbes des Contraintes-Glisement.

Les deux courbes obtenues par Eurocode5 et simulation numerique avec ABAQUS respectivement, elles suivent le meme comportement (comportement élastique parfait), sauf que la deformation engendrée dans la simulation numerique est tres faible par rapport a celle theorique et cette difference est due aux differents coefficients affectés aux differents parametres de la methode de calcul (methode '  $\gamma$  '), c-a-d les coefficients de securité ( $\gamma_G$  et  $\gamma_Q$ ) affectés aux actions variables (G et Q) augmentent les valeurs des sollicitations comme forces, moments, contraintes et effort tranchants, et  $K_{ser,EC} = \rho^{1.5} \cdot D/20 < K_{ser}$  qui influe sur glissement ( $U_{inst} = F_d / K_{ser}$ ), Le glissement numerique = 1/3 le glissement theorique.

### **Conclusion :**

La méthode " $\gamma$ " développée dans l'Eurocode5 est une méthode simple, elle nous permet d'avoir des résultats fiables pour la construction mixte bois-béton, et la simulation numérique nous permet d'avoir un modèle de référence avec un comportement plus au moins réel.

## ***CONCLUSION GENERALE***

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal De ce travail est de vérifier un système de connexion vis-à-vis le glissement ainsi que l'influence des organes d'assemblages "connecteurs" sur ce système de connexion.

Enfin les résultats obtenus par la méthode de l'Eurode5 ou bien par la simulation numérique sont satisfaisant car toutes les conditions sont vérifiées, ce qui nous permis de conclure que les "connecteur" sont des organes d'assemblages efficaces qui assurent une bonne connexion entre les deux matériaux composants un plancher mixte Bois-Béton

Concernant notre expérience personnelle, c'était pour nous le premier projet d'une durée aussi longue. Nous avons pu mesurer l'importance de se fixer des objectifs à court terme pour permettre la réalisation des objectifs à moyen terme. Travailler quotidiennement avec en tête un objectif à court terme à atteindre, cela nous a aidés un rythme de travail à tenir. Nous avons aussi pu mesurer l'importance du travail en équipe et le travail collaboratif qui a tenu un rôle très important tout au long de notre projet. Avoir fait un planning dans le programme nous a permis de savoir où l'on en était et nous a permis de mesurer notre avancement pour chaque partie. De plus, nous avons pu mesurer l'importance de se partager le travail pour avancer suffisamment et ne pas laisser nos objectifs de côté.

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **THESES :**

- 1) **THESE** : A. aliche : comportement non linéaire des connexions Bois-Béton dans les plancher mixte UMMTO 2012.
- 2) **THESE** : FLEUR E T Mickaël, FUE NTE S Loïc et CHESNAY Christopher: Plancher Bois-Béton Université OSEPH FOURIER (2007/2008).
- 3) **THESE** : Hoai. Son PHAM : Optimisation et comportement en fatigue de la connexion bois-BFUP pour de nouveaux ponts mixtes (Novembre 2007).
- 4) **THESE** : Marilyne MBARGA Elève ingénieur, GC5Projet de Fin d'Etudes, Spécialité Génie Civil INSA de Strasbourg Prédimensionnement de planchers mixtes Bois-Béton (Juin 2009).
- 5) **THESE** : MOHSSINE MOUTEE : Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage (UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC AOUT 2006).

### **RAPPORT :**

#### **1) COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES PLANCHERS MIXTES EN BOIS-BÉTON**

Le présent rapport a été établi par :

Audrey Skowron, ir., chercheur, laboratoire 'Structures', CSTC

Yves Martin, ir., chef de la division 'Enveloppe du bâtiment et menuiserie', CSTC

Benoit Parmentier, ir., chef de la division 'Structures', CSTC en collaboration avec

Patrick Van den Bossche, ir., CTIB (Centre technique de l'industrie du bois).

(CSTC-Rapport n° 13 – 2010)

### **NORMES ET OUVRAGES :**

- 1) **Bael 91**- règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites révisées 99.
- 2) **Eurocode4** - Calcul des structures mixtes (2005).
- 3) **Eurocode2**-calcul des bâtiments en béton
- 4) **Eurocode5** - Conception et calcul des structures en bois, notamment annexe B –Poutres assemblées mécaniquement (2005).
- 5) **Matériaux composites** (4<sup>ème</sup> Edition) : comportement mécanique et analyse des structures Jean Berthelot.
- 6) **Problèmes de résistance des matériaux** : sollicitations simples et sollicitations composées A.GEIT

## **AVIS TECHNIQUES :**

- 1) **D-DALLE** : Avis Technique 3/06-488
- 2) **SBB** Système Bois Béton ( Bruno.Faure@kdi.fr)
- 3) **SFS VB** Système mixte. (Brevet européen, N° 0432484 et 0528450 Homologation Allemand N°. Z-9.1-342).
- 4) **Tecnaria** : Connecteurs pour plancher mixte Bois-Béton (Réf.DT/ASS/2006.446.1197/B).

# ANNEXE

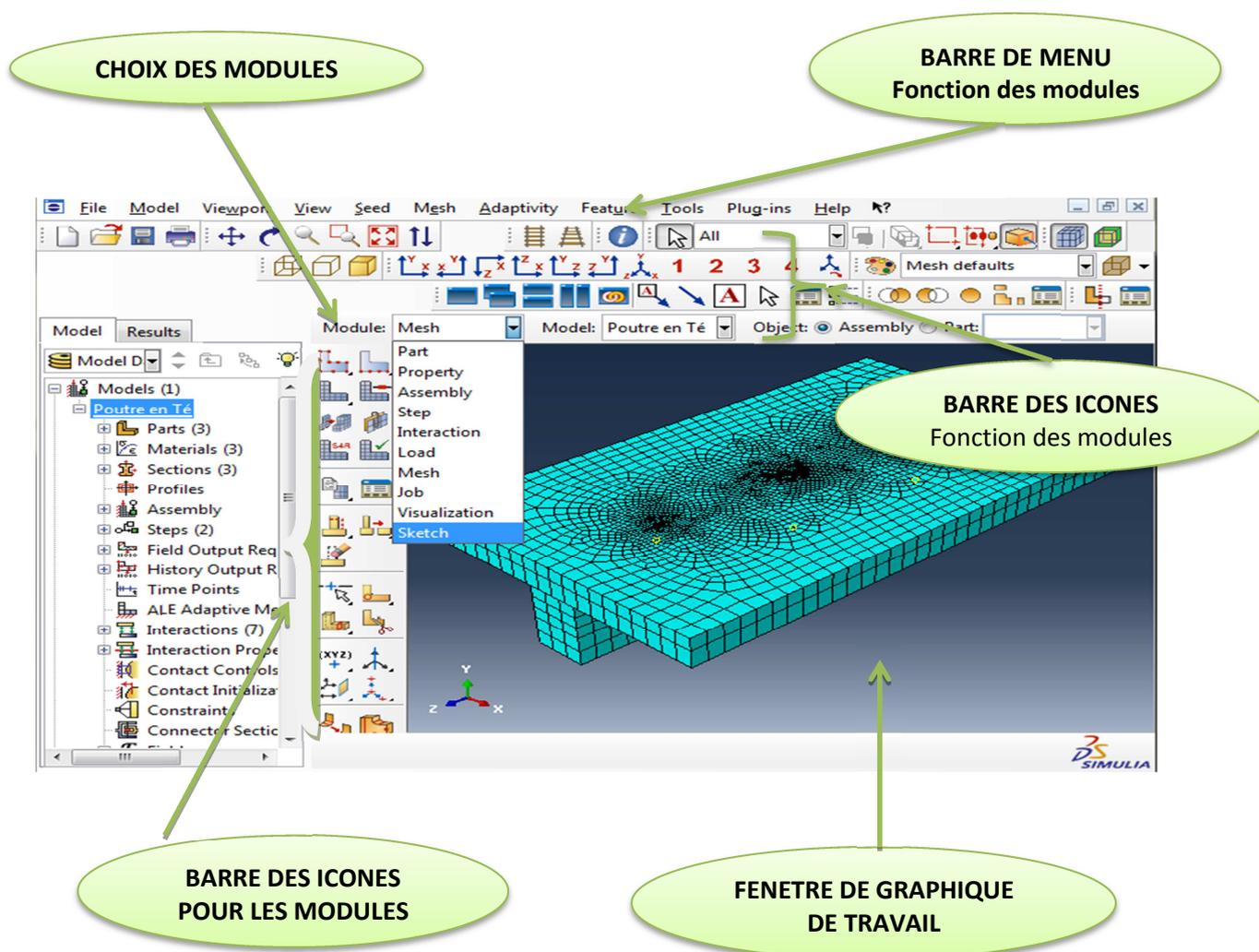
## Simulation numérique avec logiciel "ABAQUS"

### Introduction :

Le code de "ABAQUS" est un logiciel de conception et de calcul ordinateur, il analyse les modèle avec la méthode des éléments finis pour optimiser le prototypage virtuel et la simulation numérique, en utilisant les hypothèses de la mécanique de la rupture en élasticité et de la dynamique, il génère les structure, leur caractéristique et celles du problème étudié, ensuite il calcul le résultat de cette structure (déformations, ruptures, plastification...), enfin il permet de traiter ces résultats afin de sortir des données utilisables et exploitables.

### Présentation du logiciel ABAQUS CAE (Complète Abaqus Environnement) :

La figure suivante montre la poutre mixte Bois-Béton utilisée pour la simulation numérique en présentant les différents modules du logiciel 'ABAQUS'.



## Les modules :

ABAQUS CAE est divisé en unités fonctionnelles appelées modules. Chaque module contient les outils qui sont propres à une partie de la tâche de modélisation.

Le module '**PART**' : Le module Part permet de créer tous les objets géométriques nécessaires à notre problème.

Le module '**PROPERTY**' : Le module Property permet, comme son nom l'indique, de définir toutes les propriétés d'un objet géométrique ou d'une partie de ces objets.

Le module '**ASSEMBLY**' : Ce module permet d'assembler les différents objets géométriques créés dans un même repère de coordonnées global. Un modèle ABAQUS contient un seul assemblage.

Le module '**STEP**' : Ce module permet de définir toutes les étapes et les requêtes pour le post traitement, c'est à dire le moment (temps) à partir duquel une force est appliquée et jusqu'à quand, il est aussi possible de créer des forces ou des conditions limites qui s'activent à des moments donnés.

Le module '**INTERACTION**' : Grâce ce module, il est possible de spécifier toutes les interactions entre les différentes parties et régions du modèle, qu'elles soient mécaniques, thermiques ou autres. Il faut savoir qu'ABAQUS ne prend en compte que les interactions explicitement définies, la proximité géométrique n'étant pas suffisante.

Le module '**LOAD**' : Le module Load permet de spécifier tous les chargements, conditions limites et champs. Il faut savoir que les chargements et les conditions limites sont dépendants des steps, par exemple une force est appliquée au step 1 mais inactive au step 2.

Le module '**MESH**' :

Ce module contient tous les outils nécessaires pour générer un maillage élément fini sur un assemblage.

Le module '**JOB**' :

Une fois que toutes les tâches de définition du modèle ont été réalisées, il faut utiliser le module Job pour analyser ce modèle. ABAQUS va alors réaliser tous les calculs nécessaires et en tirer des résultats.

Le module '**VISUALIZATION**' : Ce module permet de visualiser le modèle et les résultats, les courbes de charges, les déformations...

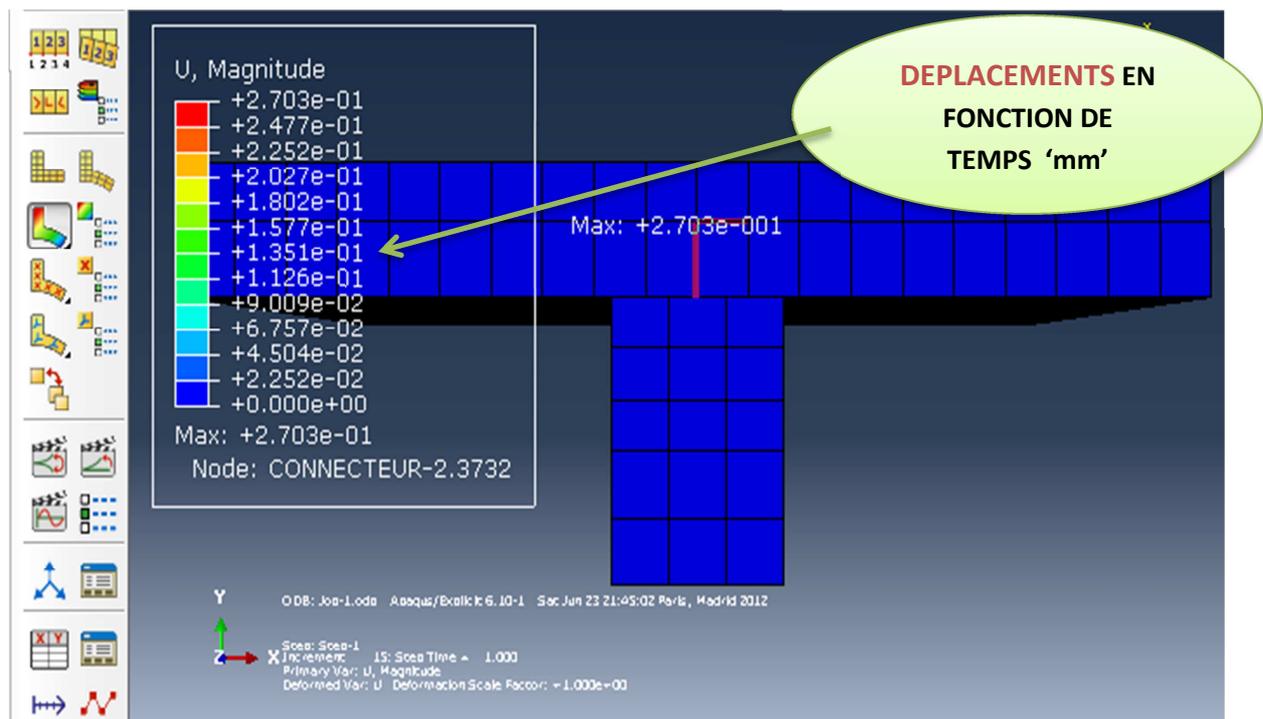
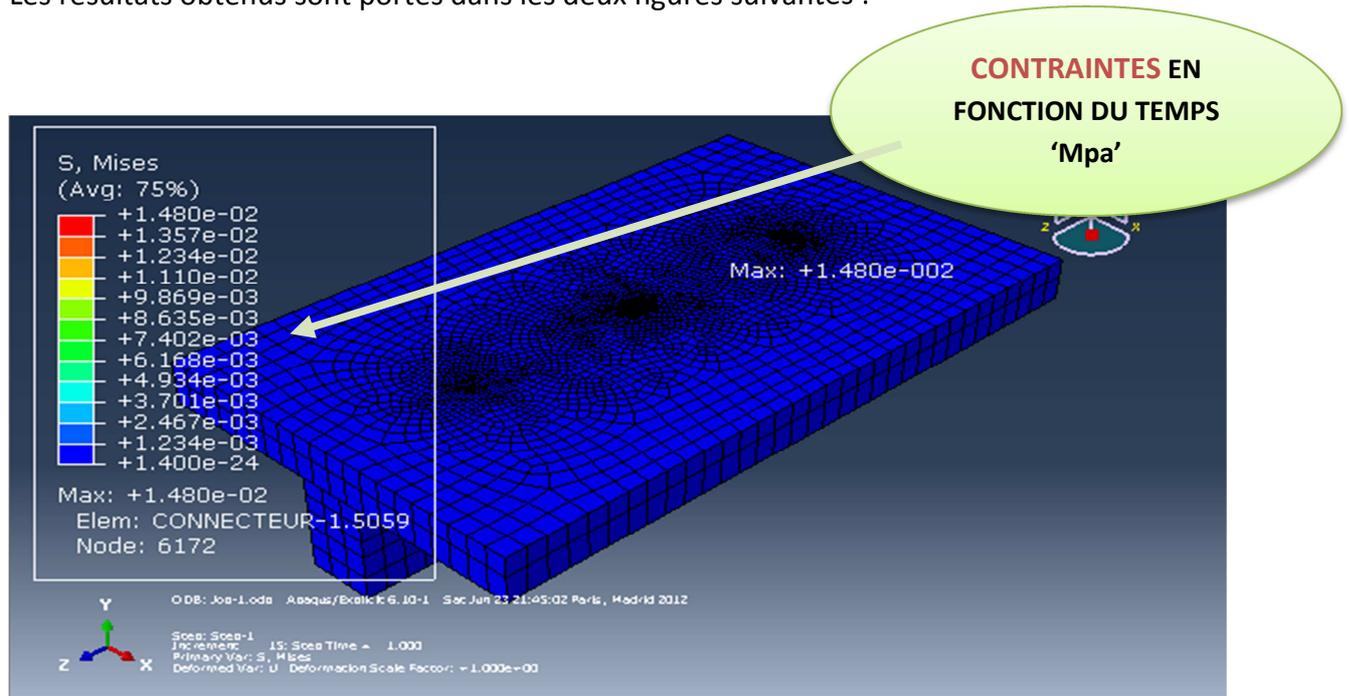
## VISUALISATION DES RESULTATS :

La visualisation des résultats se fait comme suit

Après avoir complété la modélisation de la poutre mixte Bois-Béton on a lancé le calcul et on a obtenu les résultats suivants :

- Contraintes de Von Mises en fonction du temps
- Déplacement horizontal (glissement de l'interface) en fonction du temps

Les résultats obtenus sont portés dans les deux figures suivantes :



### Présentation graphique des résultats :

La présentation graphique des résultats se fait en exploitant les données des tableaux contraintes et déplacements de la simulation numérique et on trace le Graphe contrainte-glissement comme la montre la figure (III.7 à la page 59).