



**HAL**  
open science

# Comparaison structurelle bois-béton : application aux bâtiments d'habitation

Françoise Ntolla

► **To cite this version:**

Françoise Ntolla. Comparaison structurelle bois-béton : application aux bâtiments d'habitation. Génie civil. 2014. dumas-01154144

**HAL Id: dumas-01154144**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01154144>**

Submitted on 21 May 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS**

**PARIS**

---

**MEMOIRE**

**Présenté en vue d'obtenir**

**LE DIPLOME d'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : GENIE-CIVIL**

**OPTION : BÂTIMENT**

**PAR**

**NTOLLA FRANCOIS**

---

**COMPARAISON STRUCTURELLE BOIS-BETON**

**APPLICATION AUX BÂTIMENTS D'HABITATION**

**Soutenu le 27 janvier 2014**

---

**JURY**

**PRESIDENT : Monsieur le Professeur F. GUILLEMARD, Président**

**MEMBRES CNAM: Monsieur J.S. VILLEFORT, Professeur agrégé, Responsable des Etudes**

**Monsieur G. BAJEUX, Professeur associé**

**Monsieur M. CAZENAVE, Professeur associé**

**Monsieur X. CESPEDES, Professeur associé**

**Monsieur J. PAIS, Professeur associé**

**Monsieur W. LARBI, Maître de conférences**

**MEMBRES**

**EXTERIEURS : Monsieur N. MAYEYE, Gérant BET R2M CONSULTANTS**

**Monsieur N. SLACEL, Responsable Technique BET R2M**

## REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier Mr Nicolas MAYEYE (Gérant et chef de projet de R2M CONSULTANTS), Mr Nouridine SLACEL (Responsable Technique BET R2M), sans oublier le reste de l'équipe, pour la confiance qu'ils m'ont accordée en m'acceptant si chaleureusement au sein de R2M CONSULTANTS pendant la durée de mon projet. Leurs enseignements m'ont été très précieux et je les remercie pour leurs conseils dans le domaine de la construction des structures en bois de même que pour le temps qu'ils ont disposé à mon encadrement.

Je souhaite remercier la Mairie de Versailles, tout particulièrement Mr Serge CLAUDEL (Directeur Général des Services Techniques), Mme Cécile GAMBELIN (Directrice de la Voirie Service Travaux Neufs), Mr Jean-Pierre LHERMITTE (Chef de Service Travaux Neufs), pour m'avoir permis d'effectuer mon mémoire de fin d'études en temps partiel dans un bureau d'études externe.

Un grand merci est adressé à Mr Joseph PAIS, qui fut mon tuteur encadrant du CNAM de Paris durant ces six mois. Il a été d'un grand appui pour la construction, l'avancement et la mise au point de ce mémoire, grâce à ses compétences, ses remarques, sa disponibilité à tout heure, sans oublier nos échanges et la pertinence de ses conseils.

Mes remerciements vont également à toute ma famille que je salue plus particulièrement Magdaleine NTOLLA, Emilie NTOLLA, Esther NTOLLA, Roger NTOLLA pour leur présence et conseils dans tous les domaines.

Pour finir je remercie les relecteurs de ce projet dont les conseils ont été très utiles.

## RESUME

Ce mémoire traite de l'utilisation du bois comme matériau de structure ainsi que l'analyse comparative structurelle bois béton, cette comparaison structurelle se limitera sur la superstructure.

Dans ce but le programme de construction de trois logements individuels R+2 sur un sous sol commun d'un niveau, au 103, rue Fillette Nicolas Philibert à Rueil-Malmaison a été le fil conducteur de ce projet. Le bureau d'études **R2M Consultants** est responsable des études de conception des bâtiments dont l'objectif est l'obtention du label BBC.

L'entreprise RUSTICASA basée au Portugal est en charge des plans et l'exécution de la superstructure à ossature bois suivant étude de structure, de respect de la réglementation et des plans architecte. Ce projet est doté d'une superstructure en bois et d'un sous-sol en béton.

En pleine expansion, la construction bois permet aujourd'hui de répondre à des problématiques thermiques et environnementales. Ce mémoire fait l'état des solutions constructives qui existent afin d'allier confort, stabilité structurelle et performance thermique. C'est au travers de deux études concrètes qu'ont abouti ces conclusions. La conception au sens Eurocodes 2 et 5 «l'EC2 – l'EC5» ainsi que les modélisations thermiques, selon les exigences de la réglementation RT 2005 et du Label BBC, ont été réalisées pour des bâtiments d'habitation, de forme et de structures différentes.

La première structure est constituée d'une ossature en bois et la seconde est une structure en béton armé, les deux structures doivent répondre aux critères BBC.

L'étanchéité à l'air des bâtiments bois est aussi abordée car c'est un facteur important pour le confort des utilisateurs de l'ouvrage.

Mots-clés : structure, bois, béton, poids et solidité, durabilité, descente de charges  
Dimensionnement, poteaux, poutres.

## ABSTRACT

This milked memory of the use of wood as structural material as well as the structural comparative analysis wood concrete, this comparison structural will be limited on the superstructure.

To this end the construction schedule of three R+2 single-family housings on under common ground of a level, with 103, rue Fillette Nicolas Philibert in Rueil-Malmaison was the main idea of this project. Consulting research department R2M is responsible for the design engineering of the buildings whose objective is obtaining label BBC. Company RUSTICASA based in Portugal east in charge of the plans and execution of the superstructure with framework wood following study of structure, observance of the regulation and the plans architect. This project is equipped with a superstructure out of wooden and a concrete basement.

In full expansion, construction wood makes it possible today to answer thermal and environmental problems. This project of End of Studies gives a report on the constructive solutions which exist in order to combine comfort, structural stability and thermal performance. It is through two concrete studies that these conclusions succeeded. The design with direction Eurocodes 2 and the 5 "EC2 – the EC5" as well as thermal modelings, according to the requirements of regulation RT 2005 and Label BBC, was carried out for apartment buildings, form and different structure.

The first structure consists of a framework out of wooden and the second is a reinforced concrete structure, the two structures must answer criteria BBC.

Air tightness of the buildings wood is also approached because it is a significant factor for the comfort of the users of the work.

Key-words: structure, wood, concrete, weight and solidity, durability, Descent of loads  
Sizing, posts, beams

## SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>9</b>
<b>1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....</b>	<b>11</b>
1.1. HISTORIQUE DU BUREAU D'ETUDES R2M CONSULTANS.....	11
1.2. LES DOMAINES DE COMPETENCE ET REALISATION.....	12
1.3. LE TRAVAIL DE L'INGENIEUR CHEZ R2M COSULTANTS.....	13
1.3.1. Les missions de l'ingénieur.....	13
1.4. L'OGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE.....	14
1.5. L'ORGANISATION DU BUREAU D'ETUDES.....	14
<b>2. CONSTRUCTION EN BOIS.....</b>	<b>15</b>
2.1. CONNAISSANCE DU MATERIAU BOIS.....	15
2.1.1. Structure anatomique du bois.....	15
2.1.2. La classification des arbres.....	16
2.2. MODELISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE DU BOIS.....	18
2.2.1. Propriétés physico-mécaniques des bois.....	18
2.2.1.1 Elasticité.....	18
2.2.1.2 Paramètre influençant les caractéristiques mécaniques.....	22
2.2.1.3 Influence de la densité et masse volumique.....	22
2.2.1.4 Influence du taux d'humidité et de la température.....	23
2.2.1.5 Conclusion.....	25
2.2.2. L'utilisation comme matériau structurel.....	26
2.2.2.1 Détermination des caractéristiques mécaniques.....	26
2.2.2.2 Le classement des bois de structure.....	26
2.2.3. Réglementation en matière de dimensionnement de structure bois.....	28
2.2.3.1 La naissance les l'Eurocodes.....	28
2.2.3.2 NF EN 1995-1-1 Eurocode 5.....	29
2.2.3.3 NF EN 1995-1-2 Eurocode 5.....	29
2.2.3.4 Etats limite ultimes.....	30
2.2.3.5 Etats limite de services.....	31
2.2.4. Comparaison des propriétés mécaniques du bois avec d'autres matériaux.....	32
2.2.4.1 Conclusion.....	34
2.2.5. Construire avec le bois quelle solution structurelle choisir.....	35
2.2.5.1 Les bois de structure.....	35

2.2.5.1.1	Bois massif structurel .....	35
2.2.5.1.2	Bois ronds structuraux.....	36
2.2.5.1.3	Bois lamellé-collé.....	37
2.2.5.1.4	Bois massif reconstitué.....	38
2.2.5.1.5	Panneau massif contrecollé.....	39
2.2.5.1.6	Lamibois (LVL).....	40
2.2.5.1.7	Les poutres composites .....	41
2.2.5.1.8	Bois massif abouté.....	42
2.2.5.1.9	Les panneaux dérivés du bois .....	43
2.3.	LES ASSEMBLAGES EN STRUCTURE BOIS .....	47
2.3.1.	Les fonctions des assemblages.....	47
2.3.2.	Assemblages et moyens d'assemblage .....	47
2.3.2.1	Les assemblages traditionnels bois/bois .....	48
2.3.2.2	Les assemblages métalliques .....	48
2.3.2.3	Les colles et adhésifs.....	50
2.3.3.	Durabilité et traitement de préservation des bois .....	54
2.3.3.1	Utilisation des bois sans traitement .....	56
2.3.3.2	Détermination de la zone de vulnérabilité .....	57
2.3.3.3	Aspect environnemental.....	59
2.4.	LES DIFFERENTS TECHNIQUES DE CONSTRUCTION BOIS .....	60
2.4.1.	Construction à ossature bois.....	60
2.4.2.	Construction en panneaux massifs .....	61
2.4.3.	Construction poteaux poutres .....	62
2.4.4.	Les différents types de plancher bois.....	63
2.4.4.1	Plancher bois traditionnel.....	63
2.4.4.2	Plancher mixte bois-béton : le plus technique .....	64
2.5.	CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE.....	65
2.5.1.	Rappel des critères d'exigences du maître d'ouvrage .....	65
2.5.2.	Critères d'exigences techniques.....	65
2.5.3.	Critères d'exigences architecturales .....	66
2.5.4.	Critères d'exigences de durabilité, et d'entretien .....	67
2.5.5.	Critères d'exigences environnementales .....	67
2.5.6.	Le bois un matériau facile à mettre en œuvre .....	68
2.6.	PRESENTATION DU PROJET .....	69
2.6.1.	Description du projet .....	69
2.6.2.	Situation géographique .....	69
2.6.3.	Description des logements.....	69
2.6.4.	La démarche de la maîtrise d'œuvre.....	71
2.6.5.	Le marché .....	71
2.6.6.	Situation topographique .....	72
2.6.7.	Risques liés à l'environnement.....	72
2.6.8.	Classement du bâtiment .....	73
2.7.	POURQUOI UNE STRUCTURE BOIS INEDITE ? .....	74
2.7.1.	Cohérence de la structure avec le projet .....	75
2.7.1.1	D'un point de vue technique et économique .....	75
2.7.1.2	D'un point de vue environnemental.....	77
2.7.1.3	D'un point de vue durabilité et flexibilité .....	80
2.7.2.	Cohérence sur plan économique et culturelle .....	81

2.7.2.1	Sur le plan mondial .....	81
2.7.2.2	Sur le plan national .....	83
2.7.2.3	L'avenir de la filière bois s'éclaircit.....	84
2.7.2.4	La compétitivité française en question.....	85
2.7.2.5	Encore des obstacles à surmonter.....	85
2.7.2.6	Trois mots d'ordre pour les leaders Français du bois .....	86
<b>2.8.</b>	<b>COMPORTEMENTS FACE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES ET TECHNIQUES.....</b>	<b>88</b>
2.8.1.	Les exigences règlementaires du projet.....	88
2.8.2.	Les exigences sur le plan acoustique.....	90
2.8.3.	Les solutions constructives bois pour respecter : .....	93
2.8.3.1	Les exigences d'isolement aux bruits aériens.....	93
2.8.3.2	Les exigences d'isolement aux bruits de chocs.....	95
2.8.4.	Les exigences sur le plan thermique .....	97
2.8.4.1	L'isolation thermique.....	97
2.8.4.2	L'inertie thermique .....	99
2.8.4.3	Etanchéité à l'eau et à l'air .....	100
2.8.1.	Les exigences sur la stabilité au feu du bois.....	103
2.8.2.	Le contreventement des structures bois.....	106
<b>2.9.</b>	<b>LES DIFFERENTS ACTEURS DU PROJET .....</b>	<b>108</b>
<b>2.10.</b>	<b>PLANNING DU PROJET .....</b>	<b>108</b>
2.10.1.	Chronologie du projet (planning prévisionnel des travaux) .....	108
2.10.2.	Mon rôle dans le projet .....	109
<b>2.11.</b>	<b>PROJET B.B.C .....</b>	<b>110</b>
2.11.1.	Réglementation Thermique RT2005.....	110
2.11.2.	Textes réglementaire.....	110
2.11.3.	Le label BBC-Effinergie.....	110
2.11.4.	Cinq usages de l'énergie .....	111
2.11.5.	Test d'Etanchéité à l'air .....	111
2.11.6.	Critères de calcul suivant RT2005.....	112
<b>2.12.</b>	<b>LES LABELS ET SOLUTIONS TECHNIQUES DU PROJET BBC .....</b>	<b>112</b>
2.12.1.	Organismes certificateurs.....	112
2.12.2.	Gestion d'un projet de construction BBC. ....	113
2.12.3.	Choix des solutions techniques et architecturales .....	113
2.12.4.	La conception architecturale .....	114
2.12.5.	La ventilation .....	114
2.12.6.	Système double-flux.....	115
<b>2.13.</b>	<b>LE ROLE DU BUREAU D'ETUDES R2M CONSULTANTS .....</b>	<b>116</b>
2.13.1.	La cellule de Synthèse .....	116
2.13.2.	Encadrement du chantier .....	116
<b>3.</b>	<b>COMPARAISON STRUCTURELLE BOIS - BETON .....</b>	<b>117</b>
3.1.	DESCENTE DE CHARGE ET DIMENSIONNEMENT A L'EC5 ET L'EC2 .....	117
3.2.	ETUDE DU PROJET.....	119
3.3.	DESCENTE DES CHARGES DE LA STRUCTURE EN BOIS « EC5 » .....	121
3.4.	CALCUL DES STRUCTURES EN BOIS « EC5 » .....	124
3.4.1.	Dimensionnement de la poutre en flexion simple suivant l'EC5.....	124
3.4.2.	Vérification la condition d'instabilité .....	127
3.4.3.	Vérification des déformations (ELS) .....	128



3.4.4.	Vérification des contraintes de cisaillement des poutres (ELU).....	131
3.4.5.	Dimensionnement d'un poteau compression axiale.....	132
3.4.6.	Justification des structures au feu.....	135
3.4.6.1	Vérification au feu de la section résiduelle.....	136
3.5.	<b>CACULS DES STRUCTURES EN BETON ARME «EC2».....</b>	<b>138</b>
3.5.1.	Descente de charge de la structure en béton armé l'EC2 .....	138
3.5.2.	Dimensionnement de la poutre en béton armé suivant l'EC2 .....	141
3.5.3.	Calcul des armatures longitudinales tendues .....	143
3.5.3.1	Calcul du moment résistant en flexion à l'ELU .....	146
3.5.4.	Dimensionnement effort Tranchant .....	146
3.5.4.1	Résistance de la section sans armatures transversales .....	147
3.5.5.	Calcul des armatures Transversales .....	147
3.5.6.	Détermination du taux de travail en cisaillement .....	148
3.5.6.1	Calcul des armatures transversales réelles.....	148
3.5.7.	Dimensionnement d'un poteau en compression axiale.....	149
3.5.8.	Justification au feu de la poutre en BA « Méthode tabulée ».....	153
3.6.	<b>SYNTHESE COMPARATIVE DES DEUX SOLUTIONS STRUCTURELLES BOIS - BETON.....</b>	<b>154</b>
3.6.1.	Synthèse technique.....	154
3.6.1.1	Une infrastructure en béton armé.....	155
3.6.1.2	Une superstructure en bois .....	155
3.6.1.3	Comparatif des poids de structure bois – béton .....	156
3.6.1.4	Synthèse thermique.....	157
3.6.1.5	Synthèse acoustique .....	158
3.6.2.	Synthèse sur la sécurité contre l'incendie.....	159
3.6.3.	Synthèse économique .....	161
3.6.3.1	Délai de réalisation de la structure.....	161
3.6.3.2	Estimation du coût global des deux solutions .....	162
3.6.4.	Synthèse environnementale .....	162
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>164</b>
	<b>ANNEXE 1 : BILAN ESTIMATIF DES SOLUTIONS BOIS - BETON .....</b>	<b>167</b>
	<b>ANNEXE 2 : SYNTHESE GENERALE .....</b>	<b>168</b>
	<b>ANNEXE 3 PLANNING PREVISIONNEL DES TRAVAUX.....</b>	<b>169</b>
	<b>ANNEXE 4 : LES PLANS DU PROJET .....</b>	<b>170</b>
	<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>171</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>173</b>

## INTRODUCTION

Le mémoire de fin d'Etudes constitue la dernière étape de la formation d'ingénieur dispensée au CNAM de Paris. Ce mémoire traite de la comparaison structurelle bois-béton dans la construction, a été réalisé en temps partiel pendant une durée de six mois au sein de l'entreprise R2M Consultants, tout en travaillant pour la Mairie de Versailles comme Chargé d'Opérations de Voirie à la direction de la Voirie.

Afin de pouvoir travailler en étroite collaboration avec l'équipe études et l'équipe travaux sans oublier les recherches documentaires, la direction générale des services techniques de la Ville de Versailles m'a accordé une adaptation d'horaires hebdomadaire de travail en vue de la préparation du mémoire.

Après avoir abordé différents domaines d'activité lors mes précédents postes « Etudes et travaux », j'ai choisi d'effectuer ce mémoire en bureau d'études car cette voie est me semble-t-il, mieux adaptée pour approfondir mon projet. De plus, j'ai toujours souhaité participer à un développement plus éco-respectueux de la construction c'est donc naturellement que j'ai choisi de travailler dans le domaine de la construction des bâtiments à ossatures bois.

N'ayant jamais travaillé dans ce domaine, j'ai voulu découvrir une nouvelle façon de construire les bâtiments et je me suis donc tourné vers l'entreprise R2M Consultants pour y apprendre le métier.

Par mes expériences vécues, j'ai constaté que la vision des acteurs de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre a sensiblement évolué.

En effet, celles-ci utilisent d'avantage du bois dans la construction. Cette transition s'est opérée grâce aux actions qui ont été menées par les organismes et les acteurs de la filière bois.

Alors que le bois fut utilisé des siècles durant, L'avènement de la révolution industrielle, l'essor des structures en acier et l'apparition du béton ont totalement modifié la construction.

Bien qu'évident, force est de constater que depuis quelques années en France ou ailleurs, des innovations dans les techniques d'assemblage et la préservation des ouvrages font appel à nouveaux au bois ou à des produits dérivés du bois.

Ainsi, l'utilisation du bois dans la construction retrouve une place notable. Ce dernier est de plus en plus présent aussi bien dans la plupart des structures que dans les ouvrages de génie civil, avec des performances techniques évidentes, des avantages économiques et écologiques certains.

L'objectif de mon travail est de montrer les avantages du matériau bois et les diverses possibilités qu'il offre pour la création d'une architecture contemporaine et aussi de faire

une comparaison sur ses performances structurelles dans la construction par rapport au béton.

Ma démarche se fait en trois étapes :

- Une première étape sera consacrée à quelques généralités sur le bois et de son évolution dans la construction en France.
- Une seconde étape, où je mettrai en évidence l'utilisation du bois et quelques données techniques sur un projet réel afin de comparer ses performances structurelles par rapport au béton , d'en élucider le bien fondé, et d'en développer concrètement ce qui aura été vu de manière théorique.
- Enfin, une troisième étape où j'exposerai mon analyse sur la comparaison structurelle bois - béton.

## 1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 1.1. HISTORIQUE DU BUREAU D'ETUDES R2M CONSULTANS

Liée en 2004 par un groupement de consultants (Ingénieurs, Techniciens, et spécialistes de bâtiments), avec neufs collaborateurs avec à ca tête Nicolas MAYEYE ingénieur généraliste, le bureau d'études réalise un chiffre d'affaires annuel de l'ordre de **628 011.00** à travers les huit métiers :



*Figure 1.1 : les études réalisées par R2M Consultants*

Ces compétences complémentaires permettent au bureau d'études de réaliser des chantiers de grande envergure tel que : « CHEVRY COSSIGNY - FERRERIES » etc. Ces missions s'opèrent aussi bien dans le tertiaire que dans le secteur de la construction neuve ou du rénovée

## **1.2. LES DOMAINES DE COMPETENCE ET REALISATION**

**R2M Consultants**, propose des solutions en matière de conception et de réalisation ; il offre ainsi son savoir faire sur des projets complexes en partenariat publics-privé, en conception, réalisation ou en entreprise générale. Il répond donc aux appels d'offres publics et privés pour des projets diversifiés. Ses domaines d'activités sont :

- Des bâtiments publics,
- Des écoles,
- Des villas et maisons
- Des immeubles d'habitations et administratifs
- Des halles de grandes portées
- Des restaurations d'ouvrages anciens



*Photo 1.2a : construction de 3 bâtiments d'habitation 77173 CHEVRY COSSIGNY*



*Photo 1.2b : construction d'un complexe immobilier de 6 bât 77164 FERRERIES EN*



*Photo 1.2c : construction de 17 logements et bureaux 94120 FONTENAY S/BOIS*



*Photo 1.2d : construction d'un immeuble d'habitation 92130 ISSY-LES-MOULINEAUX*

### **1.3. LE TRAVAIL DE L'INGENIEUR CHEZ R2M COSULTANTS**

Comme dans toutes les entreprises en France il existe des phases d'avancement pour les projets. Ces phases sont régies par l'APS et l'APD Il s'agit de délimiter, de définir un cadre au projet par exemple :

- Le budget prévisionnel,
- Les étapes du projet,
- Les prestations demandées
- Les acteurs du projet,
- Le jalonnement et échéances...

L'avant-projet se décline en deux étapes successives :

- l'avant-projet sommaire (APS). Le but de l'APS est notamment de déterminer les valeurs des paramètres dimensionnant du projet, de façon à permettre l'estimation du coût du projet. L'APS permet également de fournir aux décideurs une proposition technique quant à la réponse apportée au problème posé, en termes de principes retenus et d'architecture générale. L'APS est l'un des éléments constitutifs du dossier de faisabilité.
- l'avant-projet définitif (APD), son but est de déterminer les surfaces détaillées de tous les éléments du programme ; d'arrêter en plans, coupes et façades les dimensions de l'ouvrage, ainsi que son aspect ; De définir les principes constructifs, les matériaux et les installations techniques

#### **1.3.1. Les missions de l'ingénieur**

Dans un projet l'ingénieur a pour missions l'étude des différentes phases d'avancement, de la conception à l'exploitation.

Le tableau ci-après indique le déroulement usuel de l'ensemble des prestations englobant le projet, la réalisation et l'exploitation:

## 1.4. L'OGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE

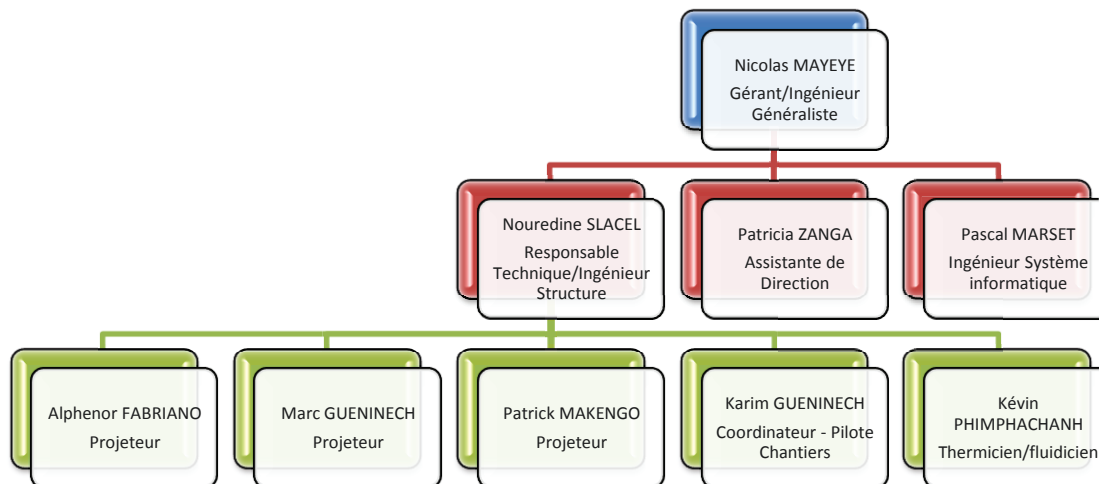


Figure 1.4 : Organigramme de R2M Consultants

## 1.5. L'ORGANISATION DU BUREAU D'ETUDES

R2M Consultants est basé dans le quartier du pavé neuf à Noisy-le-Grand, près du quartier d'affaires du Mont d'Est. Le Bureau d'étude dispose d'équipes d'experts, d'ingénieurs, des structures et système informatique, de projeteurs, de thermiciens, et de techniciens rassemblant des compétences pluridisciplinaires : calcul et études de comportement des structures, connaissance des matériaux et des pathologies associées. Près de 80% du travail du Bureau d'études relève de l'étude d'exécution, mais il réalise aussi des missions de conseil, des avant-projets et de l'assistance technique en Région Parisienne, en province, et à l'étranger.

## 2. CONSTRUCTION EN BOIS

### 2.1. CONNAISSANCE DU MATERIAU BOIS

Le bois est un matériau complexe, présentant une structure composite multi échelles. Il présente, en particulier dans la direction du fil, un excellent rapport propriétés mécaniques/masse volumique. Cette caractéristique provient de sa structure anatomique à la fois composite et hautement hiérarchisée.

Plus que tout autre, le matériau bois évoque le temps et l'âge : le temps parce que sa production est assurée par la croissance des arbres qui deviennent récoltables après une période assez longue, variable selon l'espèce et la station ; l'âge, parce qu'il est, dans l'histoire, celui qui est utilisé par l'homme depuis le plus longtemps. C'est sans doute parce que la dépense d'énergie nécessaire à sa transformation est particulièrement faible (il suffit de rompre les branches, de couper, de scier...), par comparaison avec l'élaboration des métaux ou l'exploitation des minéraux, qu'il a été mis en œuvre très tôt par l'homme, que ce soit pour se défendre, pour chasser ou s'abriter.

#### 2.1.1. Structure anatomique du bois

Le bois, avant d'être un matériau, est un ensemble de tissus organiques assurant différentes fonctions dans l'arbre par le biais de différents types de cellules. Il assure à la fois un rôle de soutien mécanique, de réseau de conduction de la sève brute, de stockage de substances nutritives mais aussi de protection contre les agents de dégradation (insectes, champignons...)

Le tronc d'un arbre est constitué de bois et d'écorce. Une coupe transversale du tronc d'un arbre est montrée sur la Fig. ci-après. Dans certains cas la partie adjacente à l'écorce (l'aubier) a une couleur plus claire que la partie interne (duramen ou bois parfait). Pour de nombreuses essences, cette distinction de couleur entre l'aubier et le duramen n'existe pas.

Dans les arbres, le bois exerce trois fonctions notamment, la conduction de la sève brute de la racine vers les branches, le soutien de l'ensemble de l'arbre contre son poids et les forces extérieures (du vent) et la réserve des substances nutritives comme l'amidon.

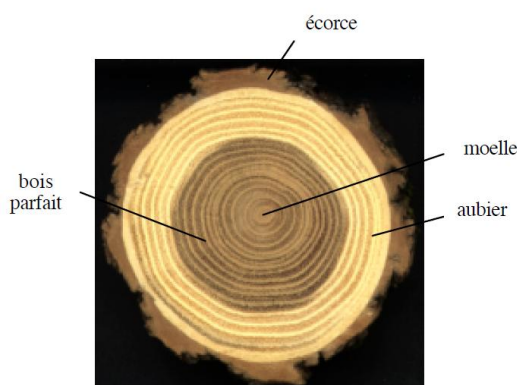
- Les cellules du bois qui remplissent la fonction de conduction dans l'aubier sont souvent mortes, tandis que les cellules vivantes jouent le rôle de l'emménagement.
- Les cellules de conduction et de soutien meurent entre 15 et 20 jours après leur formation, par contre les cellules d'emménagement restent vivantes pendant plusieurs années.



La mort de ces dernières et la formation du bois parfait sont accompagnées de la sécrétion des phénols oxydés qui sont souvent à l'origine de la pigmentation du bois.

Pour des arbres où le bois parfait et le bois aubier ont la même couleur la mort de ces cellules n'est pas accompagnée d'une pigmentation. Les matériaux sécrétés sont nommés les extractifs. Ils sont toxiques et augmentent la durabilité du bois.

Le bois est généré entre l'aubier et l'écorce dans l'assise génératrice, tandis que l'aubier adjacent au bois parfait se convertit en duramen. La proportion d'aubier et de bois parfait varie selon l'âge et l'essence de l'arbre. Le pourcentage volumique des cellules vivantes dans l'aubier varie entre 10 et 40 %.



*Figure 2.1.1 : Coupe transversale d'un tronc*

### 2.1.2. La classification des arbres

On peut distinguer les deux grandes classes d'arbres que sont les résineux (ou les gymnospermes) et les feuillus (ou les angiospermes), chacune des classes développent une structure particulière. Les résineux, plus anciens, développent une solution simple et uniforme, constitués de deux types de cellules :

Les trachéides cellules longitudinales assurent une double fonction de conduction et de soutien.

Les cellules parenchymes assurent le stockage par l'intermédiaire des cellules radiales et axiales.

Le bois des feuillus présente dans sa structure une diversité beaucoup plus grande que les résineux et possède différents types de cellules (vaisseaux, trachéides et cellules parenchymes). Dans le bois des feuillus, il existe des vaisseaux spécialisés pour transporter la sève brute et des fibres assurant la résistance mécanique et de soutien. La réserve de substance nutritive est assurée comme chez les résineux par les parenchymes longitudinaux et radiaux.

A l'échelle la plus fine d'investigation du matériau, au niveau microscopique, les cellules de bois se présentent sous la forme de tubes, dont la paroi est composée de multicouche successives tressées tout autour d'un trou central « le lumen » qui sert de circulation de la sève ascendante. La figure ci-dessous présente la structure du bois de la planche à la molécule, avec l'organisation de la paroi cellulaire.

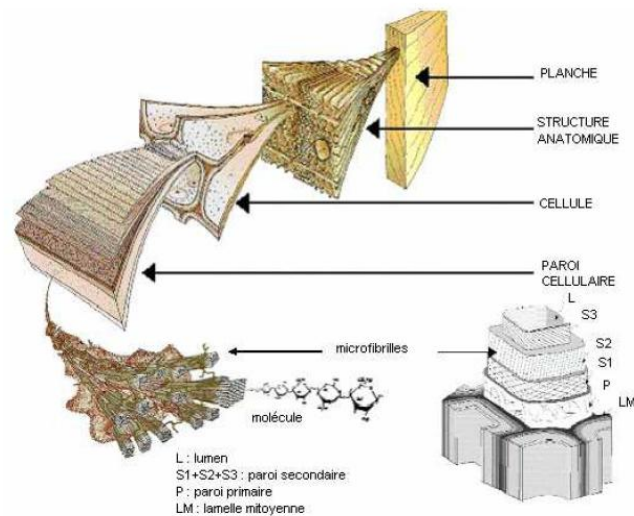


Figure 2.1.2a : Structure microscopique de la paroi cellulaire du bois sous forme de tubes - de la planche à la molécule

Détaillons brièvement les différentes parties qui composent le tronc de l'arbre. Pour mieux visualiser à quoi correspondent les directions longitudinale, radiale, tangentielle.

Le bois est composé de l'aubier et du duramen (= bois de cœur).

Ecorce, cambium, moelle ne sont pas considérés comme du bois.

Coupe transversale

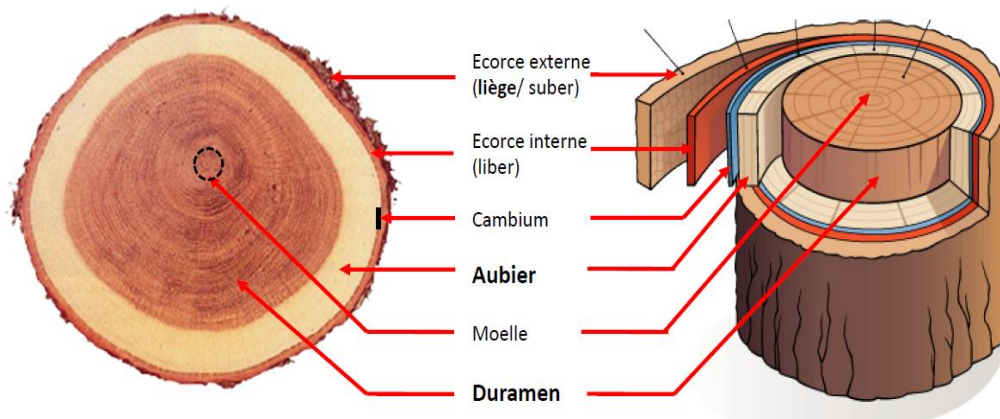


Figure 2.1.2b : Coupe transversale d'un tronc sur laquelle on peut observer différentes zones

**Le cambium** est la couche la plus importante car c'est elle qui assure l'accroissement du diamètre de l'arbre. Elle est située juste sous l'écorce interne (ou liber). Ses cellules vivantes se divisent et se multiplient pour former de nouvelles cellules. Celles formées vers l'intérieur sont nombreuses et donneront le bois; et celles formées vers l'extérieur renforcent l'écorce qui a vu son diamètre grandir aussi. **L'écorce** sert juste de couche protectrice pour le tronc. **L'aubier** est une partie partiellement vivante qui assure la canalisation de la sève (brute et élaborée) dans les deux sens. Son épaisseur est fonction de l'essence.

Au fur et à mesure de l'augmentation du diamètre du tronc, le cambium s'écarte des cellules d'aubier situé plus près de la moelle. Celles-ci finissent par devenir inactives, elles cessent de transporter la sève et meurent. Les vaisseaux finiront par se boucher à cause du tanin, de la résine, de graisses et gommés. On remarque que la couleur du bois change et que ses cellules meurent petit à petit. Ce processus crée le **duramen**. Les **cernes** sont des couches de bois particuliers qui apparaissent lorsqu'il y a interruption du cycle de croissance.

Le bois est un matériau hétérogène, elle repose sur la multiplicité de facteurs naturels influençant ses conditions de croissance ou de composition, avec pour résultat des singularités physiques tel que, l'irrégularité des cernes de croissances, la présence de nœuds de fentes etc.

## 2.2. MODELISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE DU BOIS

### 2.2.1. Propriétés physico-mécaniques des 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.

#### 2.2.1.1 Elasticité

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 du bois en traction/compression dans le sens longitudinal, (voir Fig. ci-après) permet de définir le module d'élasticité  $E$  ou module d'Young. Celui-ci n'est valable que jusqu'à la limite proportionnelle.

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

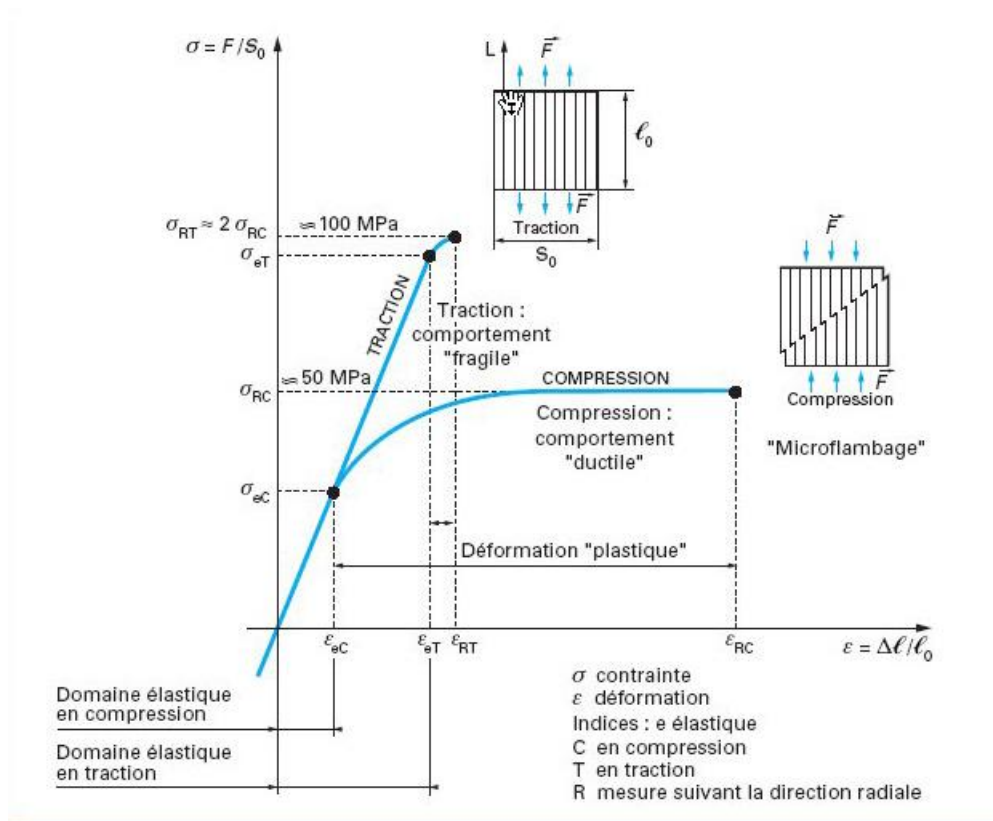


Figure 2.2.1.1a : Diagramme contrainte déformation du bois en traction/compression

L'influence de l'anisotropie du bois est due particulièrement au fait qu'environ 90% des fibres sont dans le sens longitudinales et les autres 10% sont radiales et tangentielles. C'est pourquoi l'arbre est plus renforcé verticalement et que son module  $E_L \gg E_R > E_T$ .

Le bois est un matériau anisotrope, l'ensemble des caractéristiques et propriétés mécaniques physiques et technologiques changent suivant la direction choisie. La description de la structure anatomique du bois nécessite une observation sur trois plans (direction) : ce sont les trois plans (ou coupes) perpendiculaires montrés en Fig. ci-dessous.

Le plan transversal perpendiculaire à l'axe de la tige où l'on peut observer les cernes annuels, le plan radial passant au centre de la tige et le plan tangentiel un plan excentré, parallèle à l'axe de la tige et tangent aux cernes annuels. Les trois directions sont :

La direction longitudinale ou axiale, notée (L) sur la figure, dans la direction des fibres et parallèle à l'axe du tronc.

La direction radiale, notée (R) sur la figure, perpendiculaire à la première et correspondant à la direction de croissance en diamètre.

La direction tangentielle, notée (T) sur la figure, perpendiculaire à la direction radiale et prise tangentiellement aux cernes son annuels.

Les directions (L - R - T) sont les directions d'anisotropie du bois.

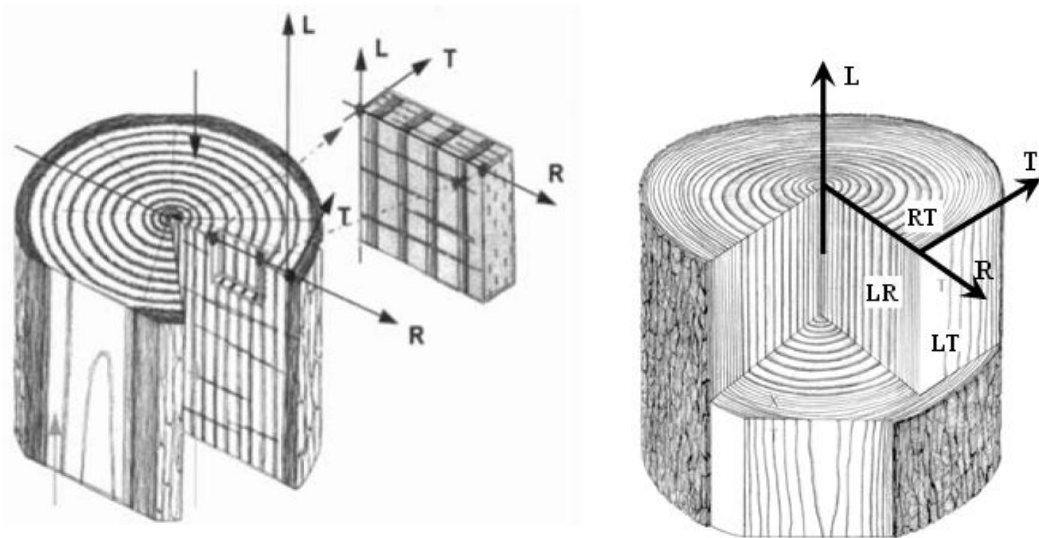


Figure 2.2.1.1b : Coupe montrant des directions d'orthotropie du bois à l'échelle du tronc

Le repère R - L - T, montrant des directions d'orthotropie génère trois plans de symétrie (LT, LR, TR) correspondant chacun à une coupe des pièces de bois.

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 passe par une détermination d'une équation matricielle couramment utilisée, faisant apparaître un tenseur d'ordre 4, appelé tenseur des complaisances élastiques (Kollmann et Côté 1968, Guitard 1987).

Où on détermine :

$\epsilon_R, \epsilon_T, \epsilon_L$ : 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

$\tau_{TL}, \tau_{RL}, \tau_{RT}$ : les contraintes de cisaillement dans les plans  $T_L, R_L$  ou  $R_T$

Comparons maintenant **les résistances moyenne à la rupture** (en MPa) des essences de bois les plus courantes (éprouvette sans défauts à 12% d'humidité) par rapport aux autres matériaux de construction sous forme de tableau :

	Résineux (sapin)	Résineux (mélèze)	Feuillus (chêne tendre)	Feuillus (Azobé)	Acier	Béton
Traction (axiale)	90 - 100	100-120	100 - 120	150-200	270	2.4
Traction (transversale)	1.2	2	3	5	270	2.4
Compression (axiale)	35 - 45	40 - 55	40 - 60	90 - 100	270	18
Compression (transversale)	6 - 8	9 - 10	12 - 15	>20	270	18
Flexion	70 - 140	70 - 140	70 - 140	70 - 140	270	18

*Tableau 2.2.1.1c : Tableau comparatif des Resistances moyennes à la rupture (Bois-Acier-Béton)*

Voici à présent le tableau des **modules d'élasticité E** (en  $N/mm^2 = MPa$ ) suivant les 3 directions pour le bois (on est toujours à 12% d'humidité).

Rappelons que le module d'élasticité (axiale) de :

- **Acier est de 210 000 MPa**
- **Béton est de 11 500 MPa.**

	MASSE VOL. ( $g/cm^3$ )	$E_{longitudinale}$	$E_{transversale}$	$E_{radiale}$	degré d'anisotropie : $E_L/E_R$	$E_L/E_T$	$E_R/E_T$
Feuillus standard	0,65	11 000 à 14 400	1 030	1 810	6 à 8	11 à 14	1,7
Résineux standard	0,45	11 000 à 13 100	636	1 000	11 à 13	17 à 21	1,6

*Tableau 2.2.1.1d : Tableau indiquant les modules d'élasticité E (des bois) dans les trois directions*

### 2.2.1.2 Paramètre influençant les caractéristiques mécaniques

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 (taux d'humidité).

De même pour la plus part des corps solide, les variations de températures se traduisent par la variation dimensionnelle dans les trois directions (longitudinale, radiale, tangentielle)

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.

### 2.2.1.3 Influence de la densité et masse volumique

La densité est sans doute la plus importante de toutes les caractéristiques mécaniques du bois, car elle exprime la quantité de matière ligneuse contenue dans un volume donné. Elle permet de classer l'ensemble des propriétés (dureté, caractéristiques mécaniques,..) et de choisir l'essence qui convient le mieux à ce que l'on veut faire. Cette caractéristique varie avec le taux d'humidité. (les valeurs sont souvent données à 12 % d'humidité, qui est l'humidité de référence).

La connaissance de la densité des bois est utile non seulement parce qu'elle permet de déterminer le poids d'une construction en ce matériau, mais parce qu'elle renseigne déjà sur d'autres propriétés fondamentales, notamment sur la dureté et la résistance à la compression.

Il faut distinguer entre la densité réelle ou absolue du bois (qui est la densité de la matière ligneuse) et la densité apparente de la masse du bois.

Pour mesurer la densité réelle on réduit le bois en poudre impalpable. On constate alors que la densité de la matière ligneuse est sensiblement la même quelle que soit l'espèce considérée. Elle est comprise entre 1,40 et 1,53. C'est la densité dont on approche en réduisant à néant par compression, la porosité du bois. Mais il ne s'agit la que d'une curiosité scientifique (sauf pour les utilisateurs du bois en poudre).

La densité qui intéresse le fabricant est la densité apparente détermine la porosité du matériau et varie en fonction du taux d'humidité.

La densité (D) est une fonction de la masse (M) et du volume (V) de l'échantillon à l'humidité (H) :

$$D_H = M_H / V_H$$

La masse volumique varie entre 150 kg/m<sup>3</sup> pour les bois très légers (comme le balsa), et jusqu'à plus de 1 000 kg/m<sup>3</sup> pour les bois très lourds comme l'ébène.

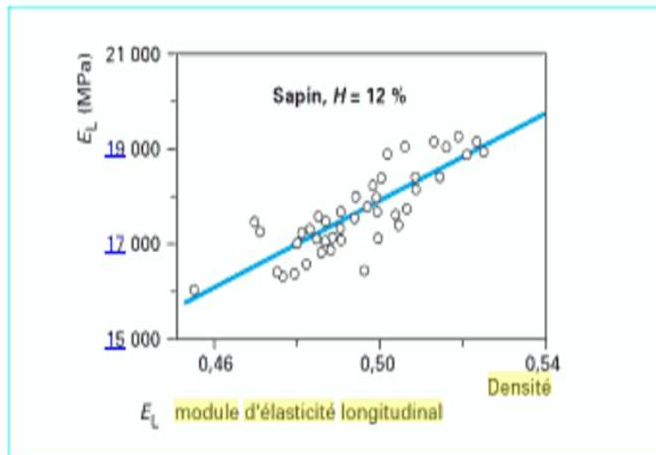


Figure 2.2.1.3: Effet de la densité sur les propriétés mécaniques à l'intérieur d'une même essence

#### 2.2.1.4 Influence du taux d'humidité et de la température

- Influence du taux d'humidité, les caractéristiques élastiques du bois varient très nettement en fonction du taux d'humidité entre l'état anhydre et le point de saturation (au delà il ne peut plus absorber de l'eau --> module constant).

On peut dire que les bois humides sont moins résistants que les bois secs.

L'humidité du bois est un paramètre essentiel pour les autres propriétés du bois; entraînant son gonflement quant il y a absorption et son retrait quant il y a désorption. Le coefficient de rétractibilité qui exprime le retrait du bois en pourcent du volume pour 1% d'humidité peut aller jusqu'à 18% pour le Hêtre (feuillu) et jusqu'à 14% pour le mélèze (résineux).

Dire qu'il faut employer du bois "bien sec" n'est pas tout à fait exact. Il vaut mieux dire que le bois, au moment de sa mise en œuvre doit être aussi près que possible du point d'équilibre qu'il atteindra dans le local où il sera placé. Le schéma qui suit fournit là-dessus quelques indications.

Taux d'humidité en accord avec les conditions d'utilisation



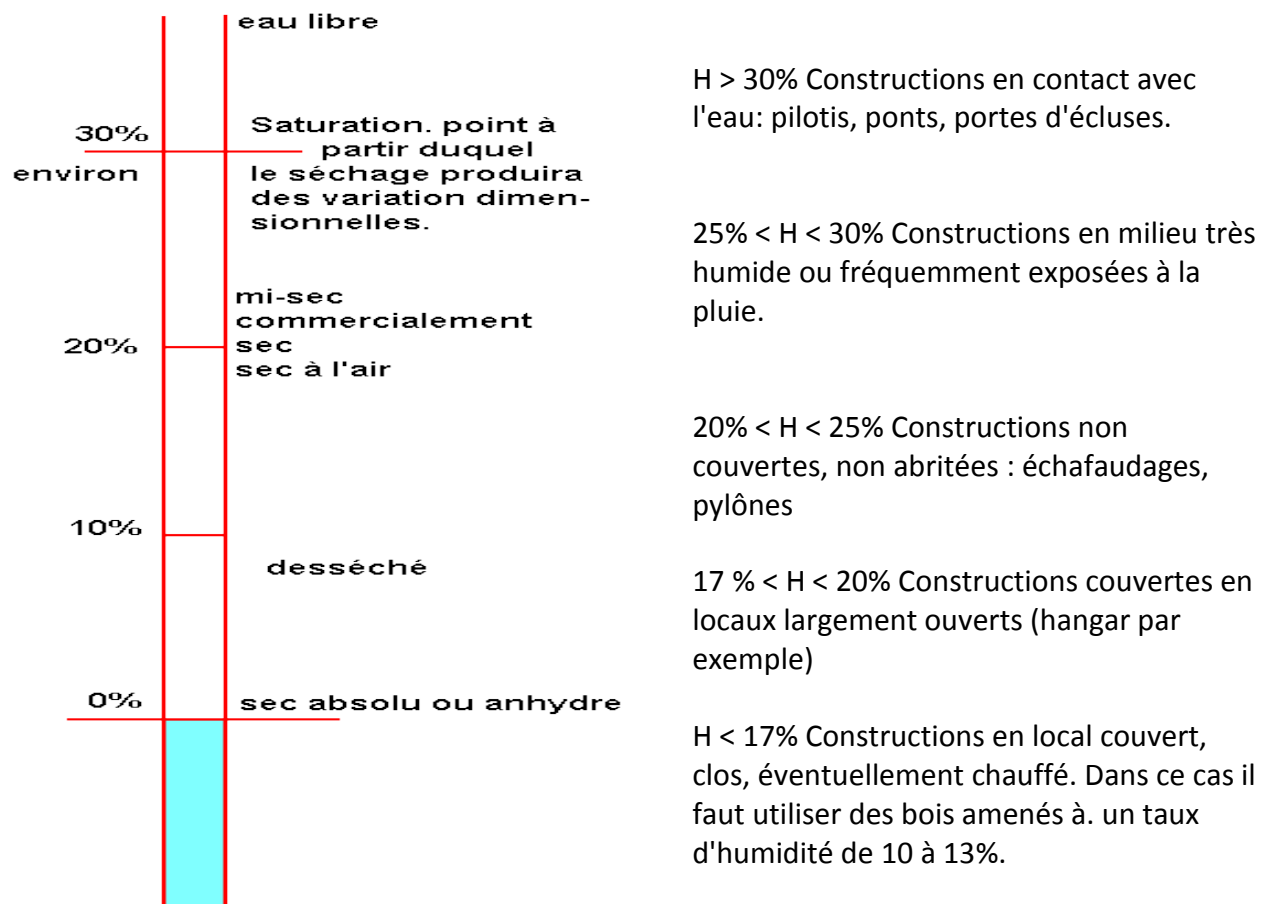


Figure 2.2.1.4a : Taux d'humidité en accord avec les conditions d'utilisations

Le graphique ci-dessous, montre l'influence du taux d'humidité du bois sur son module d'élasticité longitudinal. Nous remarquons que les propriétés mécaniques « le module d'élasticité longitudinal  $E_L$  », représentées sur l'axe (Oy), restent constantes et suit la courbe, au dessus du point de saturation correspondant à un taux d'humidité de 30%.

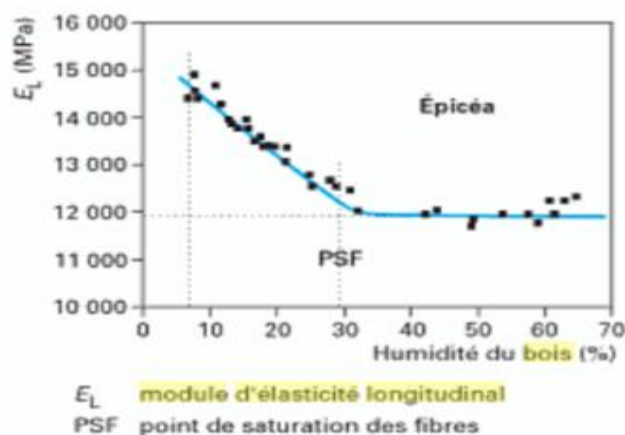


Figure 2.2.1.4c: Influence du taux d'humidité du bois sur son module d'élasticité longitudinal

- Influence de la température, le bois est tout à la fois un matériau combustible, mauvais conducteur thermique, à faible dilatation thermique et au comportement mécanique sécurisant en cas d'incendie dans les constructions.

Contrairement à la plupart des matériaux de construction, le bois présente la particularité de voir ses propriétés mécaniques augmenter et de ne pas tendre vers un comportement fragile aux très basses températures.

Le tableau ci-dessous, compare les coefficients de dilatation thermique linéique  $\alpha_t$  des principaux matériaux avec celui du bois :

Matériaux	Masse volumique moyenne	Coefficient de dilatation thermique
	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm/m.°C)
Béton armé	2500	12.10 <sup>-3</sup>
Acier	7800	12.10 <sup>-3</sup>
Aluminium	2600	20.10 <sup>-3</sup>
Chêne	650	(3 à 6).10 <sup>-3</sup>
Epicéa	450	(3 à 6).10 <sup>-3</sup>

*Tableau 2.2.1.4b : Tableau indiquant les coefficients de dilatation thermique*

### 2.2.1.5 Conclusion

D'une part pour choisir un bois ayant un emploi défini, il faut tenir compte de ses propriétés physiques. Il faut penser en premier à l'hygroscopicité\* et à la rétractabilité\*, variables suivant les essences. Pour des données égales c'est la texture qui déterminera le choix. Les bois ayant une texture faible seront plus faciles à usiner.

D'autre part les caractéristiques mécaniques du bois sont fortement dépendantes de la densité du matériau. Elle varie en fonction du taux d'humidité, de l'essence, ou de l'arbre au sein d'une même essence suivant le terrain. Etant donné l'influence de la température et du taux d'humidité sur les caractéristiques physico-mécaniques des pièces de bois, il est très important lors de la mise en œuvre des pièces de bois de tenir compte des variations de températures et d'humidité de l'air ambiant. Pour cela, il faut toujours essayer de mettre en œuvre des bois qui auront été préalablement amenés à un taux d'humidité en rapport avec les conditions d'utilisation.

## 2.2.2. L'utilisation comme matériau structurel

### 2.2.2.1 Détermination des caractéristiques mécaniques

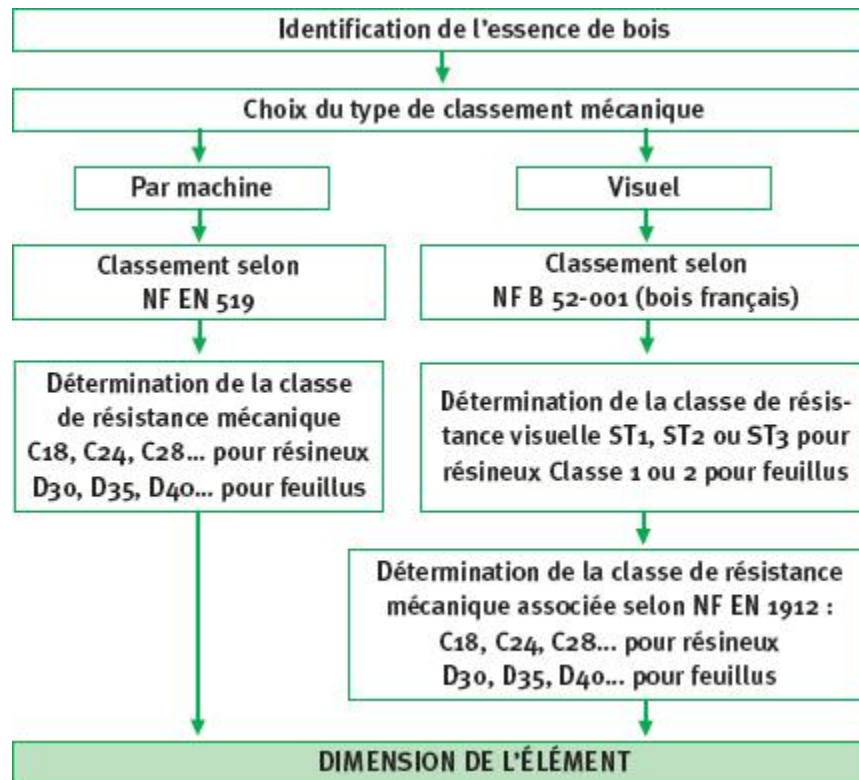


Figure 2.2.2.1 : Vue générale de la démarche

### 2.2.2.2 Le classement des bois de structure

L'utilisation du matériau bois en usage structurel est conditionnée par la connaissance de ses propriétés physico-mécaniques, ses conditions de croissance, d'exploitation et de traitement.

Pour cela il est indispensable lors de l'APS (Avant Projet Sommaire), pour une construction en structure bois, de bien évaluer la classe d'emploi et la performance du bois pour déterminer l'essence et le traitement appropriés.

Ainsi le classement des bois de structure a pour but de proposer différentes classes où les bois seront triés en lots homogènes de même résistance en vue d'optimiser leur utilisation en construction.

Selon le CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement), pour réaliser ce classement, deux méthodes existent selon une norme de classement référencée (NF B 52-001 de mars 2007):

- La méthode visuelle en observant les défauts et les singularités du bois, qui permet de déterminer du bois en fonction des particularités physiques tel que l'accroissement des cernes, les imperfections de débit et les altérations du bois.  
Ce mode de classement est assuré par l'homme ou la machine (Scanner,...)  
Le classement visuel structure définit 3 choix désignés par les appellations ST-I, ST-II, ST-III.
- Le classement par machine se fait directement en scierie. La méthode par machine permet d'effectuer un classement des pièces en fonction de classe de résistance. En mesurant directement les propriétés mécaniques du bois, selon la norme NF EN 519, qui permet de trier automatiquement en classes mécaniques définies par la norme NF EN 338 présente pour les résineux et les feuillus.  
Il est fondé sur la bonne corrélation statistique existant entre la contrainte de rupture en flexion des pièces de bois et leur module d'élasticité à la flexion.

Le tableau suivant indique la correspondance entre les classes mécaniques et les classes visuelles, en fonction des essences :

Essences	Classe visuelle Selon NF B 52 001	Classe mécanique Selon NF EN 338	Emplois principaux
Sapin, Epicéa, Pins, Douglas Peuplier, Mélèze	ST I	C30 (GL)	Charpente - lamellé-collé
	ST II	C24 (GL)	Charpente - lamellé-collé et industrielle
	ST III	C18	Charpente - traditionnelle
Feuillus (Chêne)	1	D35	
	2	D30	

*Tableau 2.2.2.2a : Tableau indiquant la correspondance entre les classes visuelles et mécaniques*

Les bois de structures sont repartis en classe de résistances désignées par une lettre, cette lettre désigne la catégorie du bois :

- C : Pour les résineux
- D : Pour les feuillus
- GL : Pour les lamellé-collé

Dans les appellations C30, C24, C18, la lettre C (classe) est suivie du nombre correspondant à la valeur de la contrainte caractéristique de rupture en flexion exprimée en (Mpa).

La classe C30 est préconisée pour la charpente lamellé-collé à hautes performances.

## 2.2.3. Réglementation en matière de dimensionnement de structure bois

### 2.2.3.1 La naissance les l'Eurocodes

Les Eurocodes sont nés de la volonté d'uniformiser les normes en matière de construction pour l'ensemble de la communauté Européenne dans le but de donner des méthodes communes en matière de conception organisée dans une série de textes techniques mis à disposition des Etats membres, constituant une référence technique et commerciale dans le domaine du Génie-civil.

L'application des Eurocodes permet de bénéficier d'une présomption de respect des précautions de stabilité, de sécurité, de durabilité et de sécurité au feu des constructions.

Leur application doit faciliter et favoriser la compréhension des normes et la libre concurrence entre les professionnels Européens dans le secteur des travaux et des produits dans le domaine de la construction. Concernant les travaux de conception, les Eurocodes se composent d'une partie générale et commune aux Etats membres, et également adoptés par les Etats Européens non membres de l'UE, éventuellement destiné à le devenir. Et une annexe nationale dans laquelle chaque Etat membre fixe le niveau de sécurité et de fonctionnalité des constructions.

L'application de l'Eurocode permet de contribuer ainsi à la création du marché unique de la construction (ouverture du marché européen aux entreprises est aux bureaux d'ingénierie) et au renforcement de la compétitivité de l'ingénierie européenne.

Ces normes européennes forment un ensemble cohérent et homogène de règles techniques. Elles constituent un langage commun pour tous les concepteurs européens, bénéficiant des connaissances les plus récentes.

La méthode de calcul utilisée par l'Eurocode 5 pour démontrer la faisabilité des structures notamment en matière de sécurité, est une semi-probabiliste de sécurité des constructions, introduisant la méthode des coefficients partiels de façon à couvrir la plus part des imperfections liées d'une manière intime à des modèles de calcul des structures, tel que les propriétés des matériaux, les actions sans oublier le modèle de résistance, avec des méthodes de dimensionnement fondées sur le concept des états limites (états limites de service ELS, et états limites ultimes ELU).

Elles s'appliquent aux différents matériaux (béton, acier, bois, etc.) et aux différents types de construction (bâtiments, ponts, silos, etc.).

L'approche semi-probabiliste consiste à définir les valeurs des actions à prendre en compte en fonction de leur occurrence pendant une certaine période. Cette période est respectivement de 50 ans, 475 ans et 1000 ans pour les actions climatiques, les séismes et le trafic.

Elles fournissent une série de méthodes et de règles techniques communes à tous les pays européens pour calculer la stabilité, la résistance mécanique et la sécurité incendie des éléments ayant une fonction structurelle dans un ouvrage de construction. Elles concernent les ouvrages neufs uniquement.

Elles harmonisent les « codes de calcul » des différents états membres et remplaceront à terme les règles en vigueur dans chacun de ces états.

### 2.2.3.2 NF EN 1995-1-1 Eurocode 5

L'EC5-1-1 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.

L'EC5-1-1 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 des données dans EN 1990:2002.

L'EC5-1-1 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 »

Descripteurs : bois, structure en bois, bâtiment, génie civil, bois scié, bois lamellé-collé, produit en bois, panneau a 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, crampon, plaque métallique, assemblage colle.

### 2.2.3.3 NF EN 1995-1-2 Eurocode 5

L'EC5-1-2 traite du calcul des structures en bois pour une situation accidentelle d'exposition au feu et doit être utilisée conjointement avec EN 1995-1-1 et EN 1991-1-2:2002.

L'EC5-1-2 identifie seulement les différences ou les compléments à apporter à une conception en température normale.

L'EC5-1-2 ne traite que des méthodes passives de protection au feu. Les méthodes actives ne sont pas ouvertes.

L'EC5-1-2 s'applique aux structures de bâtiment pour lesquelles certaines fonctions à remplir sont exigées dans le cas d'une exposition au feu en termes de :

- prévention d'effondrement prématuré de la structure (fonction porteuse)
- limitation de propagation du feu (flammes, gaz chauds, chaleur excessive) au-delà des zones désignées (fonction coupe-feu).

Il donne des principes et des règles d'application pour le calcul des structures vis à vis d'exigences spécifiques en respect des fonctions mentionnées ci-dessus et des niveaux de performance.

Il s'applique aux structures ou aux parties de celles-ci qui sont comprises dans le domaine d'application d'EN 1995-1-1 et sont calculées en conséquence. Les méthodes données dans EN 1995-1-2 sont applicables pour tous les produits couverts par les normes produit qui sont référencées dans cette partie.

Descripteurs : bâtiment, bois, structure en bois, bois scié, bois lamellé-collé, produit en bois, panneau à base de bois, conception, règle de construction, calcul, résistance au feu, résistance des matériaux, exposition, feu, carbonisation, vitesse de combustion, poteau, poutre, plancher, mur, vérification, exigence, colle

#### 2.2.3.4 Etats limite ultimes

EN 1995-1-1 section 6

Cet article s'applique au bois massif, au bois lamellé collé et aux produits structuraux à base de bois de section constante, et dont la direction du fil est essentiellement parallèle à la longueur de l'élément. Celui-ci est supposé sollicité par des contraintes dans la direction d'un seul des axes principaux du matériau.

On calcul des sections soumises à une contrainte dans une direction principale.

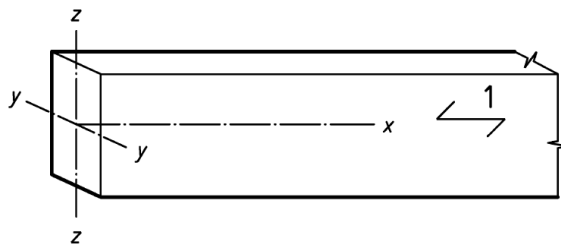


Figure : 2.2.3.4a. Axes de l'élément

On calcul des sections soumises à une contrainte dans une direction principale :

- **En traction parallèle au fil**

L'équation suivante doit être satisfaite :  $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$  (6.1)

Où :

$\sigma_{t,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de traction parallèle au fil ;

$f_{t,0,d}$  est la valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil.

- **En compression parallèle au fil**

L'équation suivante doit être satisfaite :  $\sigma_{d,0,d} \leq f_{d,0,d}$  (6.2)

Où :

$\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil ;  
 $f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil.

- **En compression perpendiculaire au fil**

L'équation suivante doit être satisfaite :  $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,0,d} * f_{d,0}$ , (6.3)

Où :

$\sigma_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact perpendiculaire au fil ;

$f_{c,0,d}$  est la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil ;

$k_{c,0,d}$  est un facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et d'un degré de déformation en compression ( $k_{c,0,d}=1$ )

- **En flexion**

Les équations suivantes doivent être satisfaites :

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$K_m * (\sigma_{m,d} / f_{m,d}) \leq 1 \quad (6.12)$$

( $\sigma_{m,d}$  et  $\sigma_{m,d}$ ) sont les valeurs de calcul des contraintes de flexion selon les axes principaux tels qu'illustrés en

( $f_{m,d}$  et  $f_{m,d}$ ) sont les valeurs de calcul correspondantes pour les résistances en flexion

- **Cisaillement**

L'équation suivante doit être satisfaite :  $\tau_d \leq f_{v,d}$  (6.13)

$\tau_d$  est la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement ;

$f_{v,d}$  est la valeur de calcul de la résistance au cisaillement pour la condition envisagée.

### 2.2.3.5 Etats limite de services

EN 1995-1-1 section 7

Les composantes de la flèche qui résultent d'une combinaison d'actions sont illustrées dans la figure ci-dessous

où les symboles sont définis comme suit,

- $w_c$  est la contreflèche (si elle existe) ;
- $w_{inst}$  est la flèche instantanée ;
- $w_{creep}$  est la flèche de fluage ;
- $w_{fin}$  est la flèche finale ;
- $w_{net,fin}$  est la flèche résultante finale.

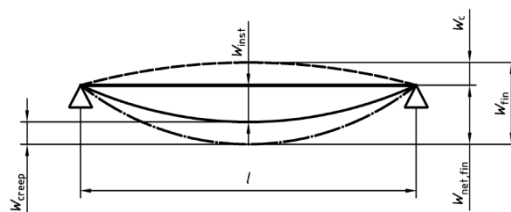


Figure : 2.2.3.5a. Composantes de la flèche



	<b>W<sub>inst</sub></b>	<b>W<sub>net,fin</sub></b>	<b>W<sub>fin</sub></b>
Poutre sur deux appuis	l/300 à l/500	l/250 à l/350	l/150 à l/300
Poutre en porte-à-faux	l/150 à l/250	l/125 à l/175	l/75 à l/150

*Tableau : 2.2.3.5b. Exemple de valeurs limites pour les flèches de poutres*

#### 2.2.4. Comparaison des propriétés mécaniques du bois avec d'autres matériaux

En comparant des propriétés mécaniques du bois, à celle des différents matériaux de construction, par exemple sur une simple base du module d'élasticité ou de la contrainte de rupture, se termine par un désavantage du bois. Comme le montre le tableau ci-dessous la comparaison sur les trois matériaux de base de la construction. Sur ces critères classiques et en dehors de tout contexte, le bois présente des niveaux de performance modeste par rapport à acier et le béton.

	Acier S355	Béton	Bois Lamellé-collé	Bois massif C24 (H=15%)
Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> )	7800	2500	380	450
Propriétés de résistance (MPa)				
Flexion	270	18	12.3	24
Traction axiale	270	2.40	8.60	14
Traction perpendiculaire	270	2.40	0.2	0.50
Compression axiale	270	18	12.3	21
Compression perpendiculaire	270	18	2.4	2.5
Cisaillement	213	1.80	1.30	3
Propriétés de rigidité (MPa)				
Module axial moyen	210 000	11 500	12 600	11 000
Module transversal moyen	210 000	11 500	1020	370
Module de cisaillement	8100	4800	790	690

*Tableau 2.2.4 a: Comparaison des caractéristiques admissible (état limite)*

Par exemple, est-il raisonnable de faire une comparaison entre un acier de construction à 210 000 MPa de module d'élasticité, et un résineux à moins de 11 000 MPa ?

Cette comparaison devient réaliste que si l'on tient compte du contexte d'utilisation du matériau par rapport aux caractéristiques spécifiques à savoir le module d'élasticité et la contrainte ramenés à la densité. Le but est d'établir un rapport entre les caractéristiques mécaniques du matériau et sa densité (masse volumique).

Prenons pour exemple, un poteau porteur, le but de la comparaison ici est de déterminer le matériau le plus léger possible et facile à mettre en œuvre, résistant à une contrainte en compression et ne présentant pas de risque de flambement.

Une charge limite de flambement « F » donnée par la formule d'Euler (susceptible de provoquer le flambement)

Formule d'Euler :  $F = \frac{k\pi^2 EI}{L^2}$  où

- K : est une constante qui dépend des conditions de liaison du poteau au sol,
- E : est le module d'élasticité du matériau en fonction de chaque matériau
- I : l'inertie de la section droite, commune à tous les matériaux
- L : la hauteur du poteau chargé, commune à tous les matériaux

Pour un poteau de section carré :

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{b^4}{12}$$

La masse du poteau de longueur « L » et de densité « ρ »

$$m = b^2 L \rho \rightarrow b^2 = \frac{m}{L\rho} \text{ d'où contrainte critique d'Euler : } F = \pi^2 \frac{Eb^4}{12L^2} \rightarrow \pi^2 = \frac{Em^2}{12L^4 \rho^2}$$

Pour une géométrie donnée de la section droite du poteau et une masse volumique "ρ" du matériau, la masse du poteau prend la forme :

$$m = k' L^2 \sqrt{F} \frac{\rho}{\sqrt{E}} \quad \text{avec } k' = \frac{\sqrt{12}}{\pi}$$

Dans cette formule, seul le module d'élasticité « E » et la densité « ρ » sont fonction du matériau. Donc nous pouvons établir un critère de performance des matériaux en fonction de leur module d'élasticité et de leur densité.

Nous remarquons dans cette formule, le rapport " $\frac{\rho}{\sqrt{E}}$ " (la densité sur la racine carrée du module d'élasticité), est le seul rapport qui détermine un critère de qualité pour un matériau mis en œuvre sous forme de poteau, colonne ou pilier.

Dans la même démarche le rapport " $\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$ " (la densité sur la racine cubique du module d'élasticité, permet de déterminer le critère de qualité pour un matériau mis en œuvre de type panneaux.

Cette formule revient alors à chercher pour une masse « m » minimale, un rapport " $\frac{\rho}{\sqrt{E}}$ " ou un rapport inverse " $\frac{\sqrt{E}}{\rho}$ " qui soit maximal.

Ci-dessous le tableau permettant de classer les matériaux en fonction du critère de performance par rapport à la masse de la pièce.

Matériaux	Module d'élasticité E(MPa)	Densité d(T/m <sup>3</sup> )	Critère de qualité pour un poteau $\sqrt{E/\rho}$	Critère de qualité pour un panneau $\sqrt[3]{E/\rho}$
Acier	210 000	7.8	59	8
Aluminium	75 000	2.6	105	16
Béton	11 500	2.5	43	9
Résineux C24	11 000	0.35 à 0.45	296 à 233	64 à 49
Feuillus	11 000	0.65	161	34
Matériaux composite	200 000	2.0	224	29

Tableau 2.2.4b : Tableau de comparaison des critères de performance des matériaux

### 2.2.4.1 Conclusion

Les résultats obtenus ci-dessus en critères de qualité pour ces deux configurations, poteaux et panneaux travaillant en compression donne un avantage nettement supérieur à des matériaux résineux par rapport à l'acier, le béton, l'aluminium, mais également aux matériaux composites (fibres de verres ...). Ceci montre le niveau de performance des matériaux bois. Nous pouvons conclure en affirmant, qu'utiliser du bois comme matériaux structurel présente un rapport « $\sqrt{E/\rho}$  et  $\sqrt[3]{E/\rho}$ » en critère de qualité 5 à 6 fois supérieur à des matériaux tel que le l'acier ou le béton.

Une autre réflexion porte sur le module d'élasticité, certes les résultats obtenus avec les résineux sont nettement supérieur, en effet ses résultats et ses capacités mécaniques du bois changent en fonction des modules d'élasticités (longitudinal, transversal, radial), contrairement au béton ou à l'acier dont les modules d'élasticité transversaux et longitudinaux sont équivalent.

## 2.2.5. Construire avec le bois quelle solution structurelle choisir

### 2.2.5.1 Les bois de structure

Par définition, un bâtiment bois est une conception dont la structure porteuse est en bois. Autrement dit, le toit repose sur des éléments horizontaux ou verticaux en bois. De nombreux produits sont développés pour la construction à ossature bois. Il s'agit de :

- Le bois massif structural,
- Le bois rond,
- Le bois lamellé-collé,
- Le bois massif reconstitué,
- Le bois massif reconstitué,
- Le bois massif abouté
- Le lamibois,
- Les poutres composites, (poutres en I) offrent une large palette de caractéristiques physiques concernant (stabilité, dimensionnement...) et des caractéristiques mécaniques en ce qui concerne (la haute résistance). Ainsi, le potentiel architectural est très vaste, permettant de construire des bâtiments avec des performances intéressantes.

#### 2.2.5.1.1 Bois massif structurel

Les bois massifs structuraux sont des éléments sont obtenus à partir de grumes ou de pièces de bois de plus fortes dimensions par enlèvement de sciures ou de plaquettes dans le sens longitudinal (sens des fibres) complétées par un usinage ou un sciage dans le but d'obtenir les meilleurs sections et profils. Les sciages structuraux sont des pièces de bois sciés entrant dans la constitution d'un ouvrage et ayant comme fonction principale la résistance aux sollicitations. Leur utilisation dans la conception demande une bonne connaissance de leurs caractéristiques mécaniques qui varient en fonction des essences.

#### Caractéristiques et dimensionnement

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5

Les dimensions courantes sont :

- Largeur : de 15 à 200 mm
- Hauteur : de 25 à 300 mm
- Longueur : jusqu'à 6.00 m
- Classement structure

Les bois sont triés en lots homogènes de même résistance mécanique. Pour réaliser ce classement, deux méthodes existent :

La méthode visuelle en observant les défauts et les singularités du bois, selon la norme NF B 52-001, qui permet de trier en classes visuelles : ST-I, ST-II et ST-III pour les résineux, 1 et 2 pour les feuillus.

La méthode par machine NF EN 519, pour déterminer la classe de résistance mécanique : C18, C24, C28...pour les résineux, D30, D35, D40 pour les feuillus.



*Figure 2.2.5.1.1 : Classement type de structure après dimensionnement et sciage*

### 2.2.5.1.2 Bois ronds structuraux

Les bois ronds structuraux sont des bois abattus ébranchés, écimés et tronçonnés. Ils sont destinés à la réalisation d'équipements extérieurs tels que des clôtures, des barrières, des poteaux. Les utilisations dans la construction se limitent à ce jour aux bâtiments en bois massifs composés de rondins empilés et aux bâtiments agricoles.

#### **Principe**

Le principe consiste à empiler des madriers ou des grands rondins, souvent résineux. Les pièces de bois s'emboîtent longitudinalement grâce à un profil et un contre-profil, et s'encastrent à leur intersection avec un assemblage à mi-bois.

En fonction de l'épaisseur des madriers ou rondins utilisés en murs, un doublage isolant sera nécessaire, côté intérieur ou extérieur. Certains fabricants proposent des madriers isolés, ayant l'apparence extérieure de madriers massifs, mais intégrant un isolant dans l'âme du madrier.

La technique dite de la «fuste» consiste à empiler des rondins bruts, non calibrés et de grandes sections

#### **Limites**

La conception de la maison doit tenir compte du jeu dimensionnel des parois (notamment pour les ouvertures), compte tenu d'un tassement vertical inévitable.

#### Caractéristiques et dimensionnement

Les dimensions courantes sont :

- Diamètre : de 8 à 20 cm
- Longueur : de 8.00m

Il n'existe aucun classement d'aspect et de structure à ce jour pour les bois ronds.



*Figure 2.2.5.1.2 : Exemple type d'une conception en bois rond*

### 2.2.5.1.3 Bois lamellé-collé

Le BLC, ou bois lamellé-collé, est une technologie révolutionnaire, vieille d'un siècle déjà. En France, on répertorie une trentaine de lamellistes et 85 % de la production tricolore est certifiée ACERBOIS GLUMAM, seul gage de qualité reconnu par les professionnels français.

Convoité pour la réalisation des portiques supportant la couverture des grands bâtiments tertiaires, des poteaux ou des traverses de charpente, cet élément structural est obtenu par l'aboutage et le collage de lamelles de bois, à fil généralement parallèle. On distingue le bois lamellé-collé horizontal qui a les plans de collages perpendiculaires à la hauteur de la poutre et le bois lamellé-collé vertical qui a les plans de collages perpendiculaires à l'épaisseur de la poutre.

#### Caractéristiques et dimensionnement

Les poutres en lamellé-collé peuvent être composées soit de lamelle de bois massif de classe mécanique identiques (lamellé-collé homogène), soit de lamelles de bois massif et de classe mécaniques différentes (lamellé-collé panaché). Les poutres peuvent être à inertie constante ou variable.

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5

Les dimensions courantes sont :

- Largeur : de 60 à 240 mm
- Hauteur : de 100 à 600 mm
- Longueur : jusqu'à 40.00 m, et jusqu'à 150m pour les structures exceptionnelles
- L'humidité moyenne des bois est de 11% à 12%

Les assemblages sont nombreux : « le bois sur bois » (tenons et mortaises, embrèvement, entaille et à mi-bois), par organes métalliques (pointes, clous, vis, tirefonds, boulons, connecteurs, etc.), le collage et le métallo-collage (goujons, entures d'angles, inserts et plats métalliques).

Grâce à ses plis horizontaux, le lamellé-collé est très malléable : il est possible de le cintrer, ouvrant à de nouvelles formes architecturales. Produit d'ingénierie totalement maîtrisé et très stable mécaniquement, le lamellé-collé est considéré comme un matériau « dur », montrant une forte résistance au feu. De nombreuses essences peuvent être utilisées, telles que le chêne, le châtaignier, le pin maritime ou le robinier. Les plus répandues restent le sapin, le douglas, l'épicéa, le pin sylvestre et le mélèze.



*Figure 2.2.5.1.3 : Le bois lamellé-collé libère les formes architecturales grâce à sa modularité*

#### 2.2.5.1.4 Bois massif reconstitué

Le bois massif reconstitué (BMR) connaît depuis une quinzaine d'années une ascension fulgurante en Europe. Appelé « Duo-Trio » ou « contrecollé », il tend à remplacer le bois massif traditionnel, en raison de sa plus forte stabilité mécanique. Il se compose de deux à cinq lames à fortes épaisseurs (de 45 à 80 mm) collées entre elles, aboutées ou non, et à fil parallèle.

Le taux d'humidité des lames non traitées ou traitées en surface est compris entre 8 et 15 %, et entre 11 et 15 % pour les éléments traités par injection.

Selon la nature de la finition, le BMR peut avoir un rendu très homogène. Ce produit ne subit que très peu de variations dimensionnelles du fait de la superposition des lames : une fois stabilisé, le risque de fendage est quasi nul, les fentes en cœur intervenant au moment du séchage. Les grosses sections ainsi obtenues sont parfaites pour la mise en œuvre des charpentes, solives de plancher ou madriers de chalets. Les essences les plus répandues sont le sapin, l'épicéa, le pin sylvestre, le douglas et le mélèze. Parmi les autres espèces rencontrées : le châtaignier, le chêne, le robinier, le western red cedar, le doussié, le merbau, ou encore l'iroko. On compte à ce jour trois ou quatre fabricants français de BMR (certification française Acerbois-BMR existante). Là encore, le marché est nettement plus développé en Allemagne ou en Autriche.

Les dimensions courantes sont :

- Largeur : de 260 mm
- Longueur : jusqu'à 13.00 m,

Les bois massifs reconstitués sont couverts par la norme NF B 52-010



### 2.2.5.1.5 Panneau massif contrecollé

Le panneau massif contrecollé, connu sous l'appellation « Cross laminated timber » (CLT), se distingue d'abord par son format « façade ».

Avec des longueurs pouvant atteindre 16 m, voire plus, des épaisseurs standard comprises entre 40 et 60 cm et sa capacité de reprise de charges, il offre de grandes possibilités architecturales.

Les panneaux sont réalisés à partir de trois à sept planches contrecollées à plis croisés, contre-clouées, ou assemblées par des **tourillons** de bois. Cette technique offre une tenue parfaite dans le temps, ainsi qu'une excellente stabilité dimensionnelle et mécanique : l'entrecroisement des lamelles limite au maximum les phénomènes de dilation et de contraction du bois.

Aussi, ce type de matériau permet-il une mise en œuvre étonnamment rapide, avec des temps de positionnement et de montage très courts. C'est la raison pour laquelle il est fortement plébiscité pour la construction d'immeubles, de ponts, de bâtiments publics, industriels et commerciaux.

Ses propriétés remarquables sur le plan de l'étanchéité à l'air, de la transmission de chaleur, de la régulation de l'air intérieur, de la diffusion de la vapeur, ainsi que sa surface régulière en font un produit de luxe, peu utilisé en maison individuelle.



*Figure 2.2.5.1.5: Exemple de panneaux massif contrecollés grand format, adapté aux maisons individuelles*

Les dimensions courantes sont :

- Epaisseur : de 40 à 60 mm
- Longueur : 16.00 m
- Produit de luxe, idéal pour la construction des ponts, immeubles, ERP, industrie et commerces



### 2.2.5.1.6 Lamibois (LVL)

Le lamibois est la dénomination française de LVL : (Laminated Veneer Lumber). Ce matériau structurel se compose de minces feuilles de placage – 3 mm en moyenne – collées à fil parallèle ou contrecollées, avec des contraintes de fabrication qui s'apparentent à celles du contreplaqué : le dimensionnement final requiert une machinerie lourde et d'importants financements. Il contient entre 10 et 20 % de colle par mètre cube, une proportion nettement supérieure à celle des matériaux décrits plus haut.

Le LVL se présente en plateaux larges (1,80 m ou plus), dans des épaisseurs variant de 25 à 75 mm selon le nombre de plis. Ses longueurs sont importantes et peuvent dépasser les 18 m. En fonction de la sélection des placages et des méthodes d'assemblages, ses performances mécaniques évoluent mais restent toujours élevées en contraintes axiales, soit le double d'un bois massif.

On emploie le lamibois pour réaliser les linteaux ou les lisses de ceinture des maisons à ossature bois, en membrure de poutre composite en I, disposé sur chant (section rectangulaire) et en panneau autoporteur (section plate) ou encore pour supporter les couvertures et planchers.

#### Caractéristiques et dimensionnement

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5, le lamibois permet d'obtenir des poutres avec un grand élancement (rapport entre épaisseur, la hauteur et la longueur libre de la poutre). Cette conception est économique mais elle nécessite de respecter de nombreuses précautions notamment celles qui sont liées au déversement, au fluage (influence du temps)... Par ailleurs, si le traitement de précaution contre les champignons lignivores est nécessaire celui-ci doit être défini avec le fabricant.

Les dimensions courantes sont :

- Largeur : de 1.80 m
- Longueur: de 18.00 m
- Epaisseur : de 25 à 75 mm
- Norme : NF EN 14279
- Norme : NF EN 142379



*Figure 2.2.5.1.6: Exemple de lamibois, assemblés les aux autres avec des joints ensuite collés à chaud sous haute pression*

### 2.2.5.1.7 Les poutres composites

Les poutres composites sont des poutres prismatiques dont la section est composée de membrures en bois ou en matériaux dérivés (lamibois, lamellé-collé, contrecollé) et d'âmes en bois ou panneaux dérivés du bois, ou en métal dont la liaison avec les membrures est assurée soit par des assembleurs mécaniques, soit par collage.

Les poutres composites (poutres en I) offrent une large palette de caractéristiques physiques concernant (stabilité, dimensionnement...) et des caractéristiques mécaniques en ce qui concerne (la haute résistance). Ainsi, le potentiel architectural est très vaste, permettant de construire des bâtiments avec des performances intéressantes.

Leurs principaux emplois dans la construction sont les solivages de plancher et pannes ou chevrons de couverture, parfois utilisées en poteaux d'ossature pour des parois à très forte isolant.

Dans le domaine de la charpente, l'utilisation de poutres à profil en I est en expansion pour des raisons d'économie de matière et de coût. Les membrures sont toujours en bois, mais l'âme peut être métallique. Cependant, une âme en bois présente les avantages de pouvoir être clouée et percée aisément. Dans ce cas, l'assemblage âme-membrure est très souvent collé. Cette solution permet une bonne rigidité de l'assemblage, mais exige des conditions strictes de température et d'humidité en atelier et une durée de stabilisation assez longue après fabrication.



*Figure 2.2.5.1.7: Exemple de poutres composites en I (solivages de plancher et pannes)*

Les dimensions courantes sont :

- Largeur : de 60 à 120 mm
- Hauteur : de 200 à 500 mm
- Longueur : de 5.00 à 12.00 m
- Aucune normalisation spécifique, sont soumises à l'Avis Technique et Certification de Qualité.

### 2.2.5.1.8 Bois massif abouté

Le bois massif abouté ou (BMA), est de section rectangulaire. Assemblées dans le sens de la longueur, les pièces de bois dont il est composé sont préalablement purgées de leurs singularités. Il ne doit y avoir ni nœuds, ni fentes, ni pente de fil élevée à l'intérieur même de l'aboutage. Ce dernier s'effectue par entures multiples, lesquelles s'emboîtent par collage.

L'humidité moyenne des lamelles est de 11 à 12 %. Le BMA ne possède que très peu de colle : un joint d'aboutage tous les 2 à 3 m. Les lames sont orientées de telle façon qu'elles ont leur cœur du même côté. Ainsi obtient-on des barres de 13 m de long en moyenne, idéales pour la mise en œuvre de poutres en I (avec une section maximale des lames de 63 × 100 mm), de pannes en bois massifs ou de chevrons (250 × 100 mm maximum).

Les essences les plus couramment utilisées sont le sapin, l'épicéa et le pin sylvestre. En France, on trouve quelques rares entreprises de bois abouté, exploitant surtout du pin maritime, du douglas ou encore du chêne. Pas assez compétitif, le produit français est souvent délaissé au profit de son équivalent



Figure 2.2.5.1.8: Exemple de bois massif abouté ne comprend que très peu de colle : joint d'aboutage tous les 2 à 3m

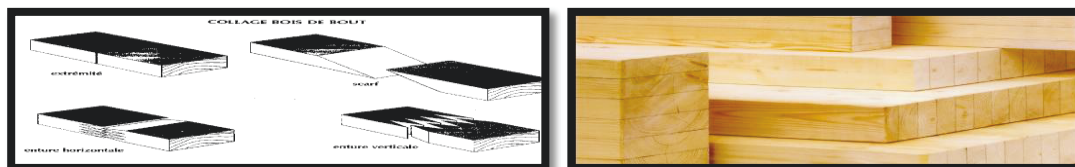


Figure : 2.3.2.3 Assemblages collés bout de bout

### 2.2.5.1.9 Les panneaux dérivés du bois

Les panneaux dérivés du bois sont largement utilisés dans la construction du bâtiment. Les panneaux OSB ont actuellement remplacé dans la grande majorité les panneaux de particules et contreplaqués. D'autres types de panneau, comme le panneau de fibre, ont évolué pour des applications spécifiques, comme la résistance mécanique, l'emploi en milieu humide et l'isolation thermique. Les panneaux dérivés du bois se composent de cinq principales familles :

#### A) Les panneaux OSB

Les panneaux OSB sont constitués de grandes lamelles orientées et liées entre elles par le collage organique. L'appellation OSB est l'acronyme de sa dénomination anglo-saxonne (Oriented Strand Board).

Les panneaux OSB sont définis dans la norme NF EN 300 – Panneaux de lamelles minces longues et orientées. Ils peuvent être classés selon différents critères. Quatre types de panneaux peuvent se rencontrer (OSB 1, 2, 3, ou 4) en selon les exigences de la norme NF EN 300 :

- OSB 1 – Panneaux pour usage général et panneaux pour agencements intérieurs (y compris les meubles) utilisés en milieu sec.
- OSB 2 – Panneaux travaillants utilisés en milieu sec.
- OSB 3 – Panneaux travaillants utilisés en milieu humide.
- OSB 4 – Panneaux travaillants sous contrainte élevée, utilisés en milieu humide.

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5

Les dimensions courantes sont :

- Epaisseur : 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22 mm
- Largeur : 1.20 m, 2.50 m
- Longueur : 3.50 m, 5.00 m

Dans la construction en particulier le bâtiment, les panneaux OSB ont un usage structurel, ils assurent une fonction de contreventement dit panneaux travaillant, dans le cas d'un voile, plancher ou support de couverture. Ils attestent la conformité et le respect de la norme NF EN 300 (NF B 54-115).



*Photo 2.2.5.1.9a : Exemple type panneau OSB*

## **B) Les panneaux de contreplaqué**

Les panneaux de contreplaqué sont panneaux, plat ou moulé, composé d'un empilage de plis de bois seuls ou associés à une âme (de panneau latté ou lamellé) ou à des feuilles de matériaux non dérivés du bois (matériaux isolant par exemple). La cohésion entre les couches de l'empilage est assurée par un liant organique.

Pour l'usage courant, les placages sont obtenus par déroulage des agrumes (débit sur dosse pure) : pour les panneaux contreplaqués destinés à recevoir une finition translucide, les placages des couches sont généralement obtenus par tranchage.

Les panneaux contreplaqués peuvent être classés selon différents critères. Selon les classes de service, la norme NF EN 636. On distingue 3 types de panneaux :

- Panneaux utilisés en milieu sec (636-1)
- Panneaux utilisés en milieu humide (636-2)
- Panneaux utilisés en milieu extérieur (636-3)

Suivant la qualité de leur collage, les contreplaqués peuvent être utilisés dans les classes d'emploi (selon NF EN 335-3)

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5. Les contraintes, rigidités et masses volumiques sont déterminées selon NF EN 789 et NF EN 1058. Elles dépendent de la composition du panneau (essences, nombre, épaisseur des plis):

La norme XP ENV 14272 permet d'estimer par le calcul les caractéristiques mécaniques de tout contreplaqué d'une essence donnée à partir des propriétés déterminées sur un lot d'un contreplaqué donné réalisé à partir de cette essence.

Les dimensions courantes sont :

- Epaisseur : 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22, 25, 30 mm
- Largeur : 1.20 m, 1.50 m
- Longueur : 2.50 m, 1.00 m

Exigences générales pour tous types de contreplaqués :

La norme NF EN 636 définit les valeurs des exigences à respecter pour un certain nombre de caractéristiques, et les normes d'essais correspondantes.



*Photo 2.2.5.1.9 b: Exemple type panneaux de contreplaqué*

### C) Les panneaux de particules

Les panneaux de particules, sont constitués de particules de bois (grands copeaux, particules, copeaux de rabotage, sciures) et/ou autre matériau lignocellulosique sous formes de particules (anas de chanvre, anas de lin, fragments de bagasse) avec addition d'un liant organique ou d'un liant minéral.

Les panneaux de particules peuvent être classés selon différents critères. Sept types de panneaux de particules peuvent se rencontrer, selon les exigences de la norme NF EN 312 :

- P1 : Panneaux pour usage général utilisés en milieu sec,
- P2 : Panneaux pour agencements intérieurs, y compris meubles, utilisés en milieu sec,
- P3 : Panneaux non travaillants utilisés en milieu humide,
- P4 : Panneaux travaillants utilisés en milieu sec,
- P5 : Panneaux travaillants utilisés en milieu humide,
- P6 : Panneaux travaillants sous contrainte élevée utilisés en milieu sec,
- P7 : Panneaux travaillant sous contrainte élevée utilisés en milieu humide.

On trouve également des panneaux spéciaux avec une résistance améliorée vis à vis des attaques biologiques, Panneaux Ignifugés, panneaux pour isolation acoustique. Parmi les panneaux de particules à liant minéral citons les panneaux de particules liées au ciment, définis dans la norme NF EN 633. Selon la norme NF EN 335-3, en raison du ciment, le risque d'attaque des panneaux de particules liés au ciment par des agents lignivores est insignifiant dans toutes les classes de risque.

Dimensions courantes :

- Epaisseur : 6 à 38 mm
- Largeur : 0.60 m, 0.90 m, 1.20 m, 1.85 m, 2.10 m
- Longueur : , de 2.500 m, à 6.100 m

Le dimensionnement se fait conformément à l'EC5.

Normes actuelles pour les panneaux de particules sont :

- NF EN 312 (NF B 54-114) : Panneaux de Particules - Exigences (et normes d'essais associées)
- NF EN 634 (NF B 54-130) : Panneaux de particules liées au ciment – Exigences
- NF EN 13986 (NF B 54-250) : Panneaux à base de bois destinés à la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
- NF EN 309 (NF B 54-101) : Panneaux de Particules - Définition et classification
- NF EN 633 (NF B 54-130) : Panneaux de particules liées au ciment – Définition et Classification
- NF EN 335-3 (NF B 50-100-3) : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Définition des classes de risque d'attaque biologique – partie 3 : Application aux panneaux à base de bois
- NF P 21-400 : Bois de structure et produits à base de bois - Classe de résistance et contraintes admissibles associées
- NF EN 12369-1 (NF B 51-078-1) : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures

- NF EN 12871 (NF B 54-074) : Panneaux à base de bois – Spécifications et exigences fonctionnelles pour panneaux travaillants utilisés en planchers, murs et toitures
- NF P 21-701 : CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- NF EN 1995 (NF P 21-711) : EC 5 - Eurocode 5 : Calcul des structures en bois



*Photo 2.2.5.1.9c : Exemple type panneaux de particules*

#### **D) Les panneaux de fibres / panneaux de fibres à moyenne densité**

Les panneaux de fibres sont, constitués de fibres de bois ou d'autres matières lignocellulosiques, d'une épaisseur supérieure ou égale à 1,5mm, avec application de chaleur et/ou de pression. La cohésion provient soit du feutrage de ces fibres et de leurs propriétés adhésives intrinsèques (procédé humide) soit de l'addition aux fibres d'un liant synthétique (procédé à sec).

Les panneaux de fibres sont classés, selon la norme EN 316 (NF B 54-050), en fonction de leur procédé de fabrication comme suit :

- Panneaux de fibres obtenus par procédé humide :  
On distingue plusieurs types selon leur masse volumique :
  - Panneaux isolants (masse volumique  $\leq 400 \text{ kg/m}^3$ ). Ces panneaux possèdent des propriétés de base thermique et phonique.
  - Panneaux mi-durs (masse volumique  $> 400$  et  $\leq 900 \text{ kg/m}^3$ )
  - Panneaux durs (masse volumique  $\geq 900 \text{ kg/m}^3$ )
- Panneaux de fibres obtenus par procédé à sec :  
Ces panneaux ont une masse volumique  $\geq 600 \text{ kg/m}^3$

Il existe aussi Les panneaux dits de fibres à moyenne densité « (MDF) sont fabriqués à l'aide d'un liant synthétique avec l'action de la chaleur et de la pression. Différents types de panneaux peuvent se rencontrer, selon les exigences de la norme NF EN 622-5 :

Dimensions courantes :

- Epaisseur : 3 à 40 mm
- Largeur : dimensions très variables
- Longueur : dimensions très variables



*Photo 2.2.5.1.9d : Exemple type panneau de fibre*

## 2.3. LES ASSEMBLAGES EN STRUCTURE BOIS

### 2.3.1. Les fonctions des assemblages

Dans la construction à ossature bois, on peut définir l'assemblage comme tout dispositif permettant d'assurer la liaison entre les barres ou les composants d'une structure. C'est aussi un ensemble de moyens permettant d'assurer une liaison entre les éléments de la structure. Ces assemblages peuvent revêtir différentes fonction :

- Transmettre les efforts entre les éléments d'une structure par contact et frottement directs, par tiges métalliques, par connecteurs ou par emboîtements (goussets...);
- Renforcer localement le bois dans la zone d'assemblage consistant à augmenter la résistance du bois à la traction transversale et dans une moindre mesure au cisaillement ;
- La transmission des efforts par contact et par frottement direct par l'intermédiaire des tiges métalliques, broches, par connecteurs ou par emboîtements ;
- Supprimer les déplacements entre les organes d'assemblages et le bois afin d'augmenter la rigidité globale de l'assemblage (résines et colles);
- Transmettre les efforts du bois, soit directement entre pièces, soit vers un organe de répartition (boulons, pointes, broches...);
- Répartir et transmettre les efforts entre organes ou matériaux d'assemblage.

### 2.3.2. Assemblages et moyens d'assemblage

Les ouvrages en bois sont réalisés à partir d'éléments préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier.

Les quatre modes d'assemblage sont les suivants : assemblage bois/bois, assemblage mécanique, assemblage par collage et assemblage métal-collé.



*Photos 2.3.2. – Pièces pour assemblage tenon et mortaise*



### 2.3.2.1 Les assemblages traditionnels bois/bois

La liaison entre pièces se fait par simple contact, sans organe complémentaire pour transmettre les efforts. Ce système d'assemblage est parfaitement adapté et utilisé en charpente bois traditionnelle. Ces assemblages présentent cependant des inconvénients :

- Affaiblissement des éléments en bois conduisant en général à des performances médiocres;
- Nécessité d'un usinage précis qui restreint fortement l'emploi et rend la fabrication difficile.

Les assemblages bois/bois permettent principalement d'assurer la transmission des efforts de compression.

Il existe une multitude de systèmes d'assemblages traditionnels, parfaitement adaptés aux particularités du bois. Dans cette partie, les assemblages traditionnels les plus couramment utilisés sont : les assemblages par embrèvement, les assemblages à mi-bois et à enfourchement, les assemblages à tenon et mortaise.

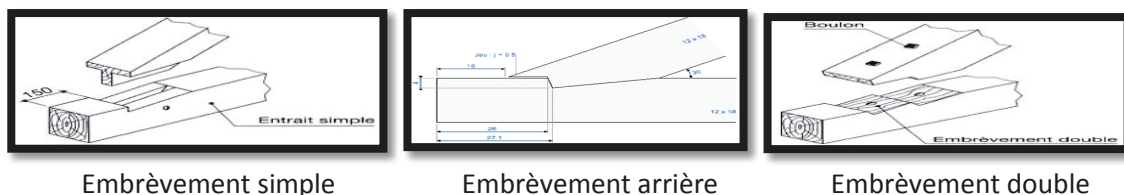


Figure : 2.3.2.1a Assemblage par embrèvement

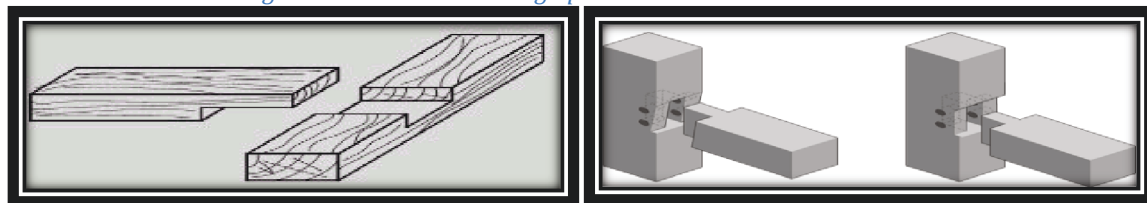


Figure : 2.3.2.1b Assemblage à mi-bois - Assemblage à tenon et mortaise

### 2.3.2.2 Les assemblages métalliques

Les moyens d'assemblages utilisés sont des organes individualisés à base d'acier et éventuellement de bois. C'est la plus grande famille de moyens d'assemblage pour le bois. Elle comprend :

#### Type Boulons – tiges filetées – broches



##### Définition

L'ensemble de ces moyens de fixation fait partie de la famille des tiges. Ils permettent d'assurer des liaisons mécaniques bois/bois ou bien, bois/métal.

##### Caractéristique :

Quelle que soit la nuance d'acier, la base de chaque boulon est un fil (rond) métallique ou la géométrie de la tête est obtenue par frappe et les pas de vis par usinage.

Les broches sont obtenues par découpe dans d'un rond métallique et les tiges filetées par usinage.

##### Dimensionnement

L'Eurocode 5, donne au calculateur tous les modèles nécessaires pour étudier le comportement réel de ce type d'assemblage. La qualité du bois et de l'acier étant les deux principaux facteurs de la résistance.

Par contre, ils ne font aucune différence entre les différents moyens d'assemblages (broches, tiges filetées, boulons).

##### Références normatives

- NF EN 409 (NF P 21-384) : Structures en bois - Méthodes d'essais - Détermination du moment plastique des éléments de fixation à chevilles – Pointes
- NF P 21-701 : Règles CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- NF EN 1995-1-1 (NF P 21-711) : Calcul des structures en bois – Règles générales.

## Type Crampons – disques de cisaillement

### Définition

Ce sont des produits industrialisés généralement circulaires qui sont associés à un boulon (ou une broche) pour reprendre des efforts entre des éléments en bois (simple ou double denture). Ils sont également employés pour le transfert d'efforts bois/acier (simple denture).

### Caractéristique :

Pour les crampons la technique de fabrication consiste à emboutir une tôle de faible épaisseur, en revanche, les anneaux sont obtenus soit par moulage soit par pliage.

La mise en oeuvre correcte d'un crampon doit être assurée par le biais d'une presse alors que pour les anneaux un usinage doit être préalablement réalisé pour permettre un logement correct de l'assembleur.

### Dimensionnement

Par comparaison aux boulons, ce type d'assembleur permet de solliciter un volume de bois plus important en répartissant plus harmonieusement les efforts. Comme pour les boulons et broches, une réduction doit être apportée en fonction de l'orientation de l'effort par rapport au fil du bois et du nombre d'assembleur en ligne.

### Références normatives

- NF EN 13271 (NF P 21-388) : Éléments de fixation du bois - Valeurs caractéristiques de capacité résistante et du module de glissement des assembleurs mécaniques du bois
- NF P 21-701 : CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- NF EN 1995-1-1 (NF P 21-711) : Calcul des structures en bois – Règles générales



## Type pointes – clous et agrafes

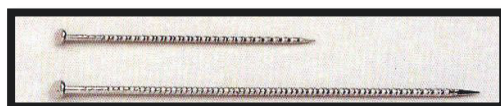
### Définition

Les pointes métalliques sont des assembleurs permettant d'assurer des liaisons planes ou tridimensionnelles dans la fabrication des structures bois.

### Caractéristique :

Dans la construction, quatre types de pointes sont couramment utilisés :

- lisse
- torsadée
- annelée
- cannelée
- crantée



### Dimensionnement

Les liaisons réalisées par pointes métalliques sont conventionnellement assimilées à des pivots. Pour le dimensionnement, selon les hypothèses initiales, il est nécessaire d'évaluer les efforts de cisaillement qui agissent sur le noeud.

Le tout doit être réalisé conformément aux règles CB71, Eurocodes5

### Références normatives

- NF EN 1380 (NF P 21-375) : Structures en bois – Méthodes d'essai – Assemblages cloués porteurs
- NF EN 1381 (NF P 21-376) : Structures en bois – Méthodes d'essai - Assemblages agrafés porteurs
- NF EN 1383 (NF P 21-378) : Structures en bois - Méthodes d'essai - Résistance à la traversée de la tête d'éléments de fixation à travers le bois
- NF EN 10230-1 (NF E 27-951) : Pointes en fil d'acier
- NF P 21-701 : Règles CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- NF EN 1995-1-1 (NF P 21-711) : Calcul des structures en bois – Règles générales

**Autres documents :** • Guide des assemblages (CTBA)

## Type boîtiers – étriers et équerres

### Définition

Cette famille d'assembleur est composée d'éléments métalliques industrialisés utilisables en fermettes, charpentes traditionnelles et lamellé collé (liaison poutres-poteaux, poutres-solives etc.

### Caractéristique

Les épaisseurs de tôle les plus courantes sont comprises entre 1 et 4 mm. Leurs géométries sont obtenues par pliage et/ou emboutissage.

### Dimensionnement

Il est d'usage d'assimiler les boîtiers et étriers à des appuis simples, en revanche, les équerres peuvent dans certains cas être assimilées à des pivots.

En conséquence, selon le cas pour le dimensionnement il est indispensable d'évaluer l'effort tranchant (et normal pour les équerres) qui agit sur ces produits.

Une fois ce travail réalisé, les abaques diffusées par les fabricants permettent de contrôler et de valider si l'assembleur est capable de reprendre cette charge.

Il est important de souligner que les valeurs de comparaison établis dans ces abaques doivent avoir pour origine des essais et une interprétation réalisée par un laboratoire accrédité.

### Références normatives



- NF ENV 1995 (NF P 21-711) : EC 5 – Eurocode 5 : Calcul des structures en bois
  - NF P 21-701 : Règles CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
  - NF EN 10327 (NF A 36-327) : Bandes et tôles en acier doux revêtues en continu par immersion à chaud pour formage à froid - Conditions techniques de livraison
- Autres documents : • ETAG 015 : Eléments de connexion tridimensionnels

### Type connecteurs



#### Définition

Les connecteurs métalliques sont des assembleurs permettant d'assurer des liaisons planes dans la fabrication d'éléments industrialisés de charpentes en bois.

#### Caractéristique

Ils sont emboutis dans les tôles d'aciers galvanisées dont l'épaisseur est comprise entre 0.9 à 2. Leurs géométries sont obtenues en emboutissage pour former un réseau de picots capable de transmettre les efforts.

#### Dimensionnement

Pour le dimensionnement, selon les hypothèses initiales, il est nécessaire d'évaluer les efforts normaux et tranchants qui agissent sur le nœud.

#### Références normatives

- NF 1075 (NF P 21-312) : structure en bois méthode d'essai, assemblage réalisés avec des connecteurs métalliques à plaques emboutie
- NF EN 1059 (NF P 21-387) : structure bois – Exigences de produit pour ferme industrialisées utilisant des connecteurs à plaques métalliques emboutie

### 2.3.2.3 Les colles et adhésifs

Les colles utilisées comme organes d'assemblages des bois massifs ou des produits dérivés du bois, en vue de la réalisation de matériaux pour la construction se déclinent en deux familles distinctes :

- Les colles pour applications structurales
- Les colles pour applications non structurales.

#### ➤ Les colles pour usages structuraux

Sont classées suivant la norme (NF EN 301) en définissant les différents types d'adhésifs à utiliser en fonction des conditions climatiques :

- Adhésif type I : capable de résister à une exposition prolongée à une température élevée dépassant 50°C.
- Adhésif type II : prévu pour usage interne, bâtiment chauffé et ventilé. A l'extérieur, à l'abri des intempéries, courtes périodes d'exposition aux intempéries et avec une température inférieure à 50°C.

Les adhésifs se déclinent comme suit :

- Adhésifs Phénoliques ; cela concerne les adhésifs Résorcine Phénol –Formol qui sont en général du « type I »
- Adhésifs Aminoplastes, Cela concerne :
  - . Les Urée formol spécifiques pour usage en structure, qui sont en général du « type II »
  - . Les Mélamine Urée formol pour usage en structure, qui sont soit du type I soit du « type II »

Leurs destinations :

- Lames en bois massifs aboutés suivant EN 385
- Poutres avec aboutages à entures multiples suivant prNF EN 15497
- Lames en bois massifs aboutés suivant EN 385
- Lamellation suivant EN 386,
- Bois lamellés contrecollés. (des exigences complémentaires sur les adhésifs sont identifiées dans la fiche correspondante)
- Bois massif contrecollés (BMR),

➤ Colle pour usages non structuraux (NF EN 204) :

Les adhésifs concernés se déclinent comme suit :

- Adhésifs mono composant vinyliques qui couvrent selon leurs performances les classes de sollicitation D1-D2 et D3 (application notamment en menuiserie intérieure : aboutage de lamelles, lamellation et assemblage)
- Adhésifs bi composant vinyliques ou vinylique modifiées Isocyanate (Polyuréthane) qui couvrent selon leurs performances la classe de sollicitation D4. (application notamment pour la menuiserie extérieure protégée par un " revêtement de surface adéquat " : Aboutage, lamellation, assemblage).

Classe de sollicitation	Exemples des conditions d'expositions et des domaines d'application
<b>D1</b>	Intérieur où la température est occasionnellement et pour peu de temps supérieure à 50°C et où l'humidité relative du bois n'excède pas 15%.
<b>D2</b>	Intérieur en contact de l'eau de ruissellement ou de condensation occasionnelle pendant un temps court et/ou soumis à une humidité de l'air élevée pendant des périodes limitées, l'humidité relative du bois pouvant atteindre 18%.
<b>D3</b>	Intérieur en contact de l'eau de ruissellement ou de condensation fréquente pendant un temps court et/ou soumis à une humidité de l'air élevée à long terme. Extérieur protégé des intempéries.
<b>D4</b>	Intérieur en contact de l'eau de ruissellement ou de condensation importante et fréquente. Extérieur exposé aux intempéries à condition qu'un revêtement de surface adéquat soit appliqué sur l'ouvrage collé.

*Tableau : 2.3.2.3 : Tableau décrivant les différentes classes de sollicitation des adhésifs*

- Adhésifs mono composant Polyuréthanes qui couvrent selon leurs performances les classes de sollicitation C1-C2 et C3 (application notamment en menuiserie intérieure : aboutage de lamelles, lamellation et assemblage) et C4 (application notamment en menuiserie extérieure : aboutage de lamelles, lamellation et assemblage)
- Adhésifs bi composant à base d'urée formol qui couvrent selon leurs performances les classes de sollicitation C1-C2 et C3 et C4 (application notamment en menuiserie (voir tableau ci-dessus))

On classe les adhésifs aux liants organiques pour le matériau bois en 3 grandes catégories :

### A) Les adhésifs thermodurcissable

En mélangeant au moins trois produit précurseurs qui, sous l'action de la chaleur et de la pression, se rétractent pour former un solide polymérisé qui celle les éléments à solidariser, en pénétrant dans les porosités.

La force de cohésion des résines thermodurcissables est supérieure à celle du bois. Les résines à base du phénol sont plus durables dans le temps et résistent mieux à l'eau que les résines à base d'urée.

Dans cette catégorie d'adhésifs on trouve :

- Les adhésifs de phénol formaldéhyde (PF)
- Les adhésifs de phénol résorcines formaldéhyde (PRF)
- Les adhésifs de phénol formaldéhyde (PF)
- Les adhésifs de tanin formaldéhyde
- Les adhésifs Mélamine formaldéhyde (MPF) et mélamine urée formaldéhyde (MUF)
- Les adhésifs à base d'isocyanate (MDI) pour les panneaux de particules

### B) Les adhésifs thermoplastiques

Les adhésifs thermoplastiques sont constitués de chaînes linéaires polymérisées qui s'enchevêtrent pour former le solide. La résistance mécanique augmente avec la longueur de la chaîne. Ces liants sont sensibles à la présence de solvants ainsi qu'à l'humidité (gonflement). Ces adhésifs sont principalement destinés pour l'aménagement ou les placages de finition sur panneaux.

On trouve dans cette catégorie :

- Les adhésifs thermofusibles, qui doivent être portés à l'état liquide puis se solidifier pour constituer l'adhésif,
- Les émulsions adhésives dont la phase aqueuse s'évapore sous l'effet de la chaleur pour donner naissance à un solide adhésif (cas des colles vinyliques). On peut y adjoindre durcisseur,
- Les colles polychloropènes qui sont souvent émulsionnées, et nécessitent un pré encollage des deux surfaces à mettre en contact.

### C) Les colles d'origine naturelle

Ces colles sont la plupart du temps d'origine animale. Les colles de nerfs ou les colles extrait d'os d'animaux sont surtout employées pour la fabrication de meubles. Plus tardivement, les

protéines de lait ou « colle caséine » peuvent être utilisées avec un antiseptique pour la fabrication de lamellé-collé qui seront installés en intérieur.

Les tanins naturels, d'origine végétale peuvent remplacer la formaldéhyde dans la fabrication de ces adhésifs, ce qui diminue leur coût de fabrication avec la mise en œuvre plus facile.

### **C) Les liants hydrauliques**

On peut utiliser du plâtre ou du ciment (Portland le plus souvent) qui solidifient en englobant les petits éléments en bois ou en fibre de bois. On fabrique ainsi les panneaux de particules de bois liées par du ciment. Qui sont de meilleure résistance au feu, et aux agressions biologiques.

Les bétons de bois sont obtenus en mettant ces matériaux en œuvre comme du béton dans lequel le granulat est remplacé par des particules de bois. On obtient un matériau aux propriétés d'absorption acoustique intéressante, avec une tenue au feu classée M1 (Euroclasse A2 à B). La masse volumique de ces bétons est faible : comprise entre 600 et 900kg/m<sup>3</sup>

### 2.3.3. Durabilité et traitement de préservation des bois

Le bois en fonction de son utilisation, en structure, en vêtture, ou encore en terrasse etc., chaque essence a une durée de vie plus ou moins importante. Celle-ci est fonction de son exposition aux agents climatiques mais également de sa durabilité naturelle, c'est-à-dire sa résistance naturelle aux attaques de champignons lignivores et d'insectes xylophages.

Rappelons-le, un bois sec est éternel. Une réalisation soignée, sans aucun risque de rétention d'eau, améliorera la vie de la structure et l'épargnera bien des problèmes d'humidité. Si l'atmosphère intérieure est saine et sèche, avec une humidité inférieure à 20% et bien ventilée, il y a peu de chance pour que les champignons se développent ou que les insectes attaquent. Sachant que les risques d'attaques par des agents d'altération biologique tels que les insectes et champignons sont directement liés à l'humidité contenue dans le bois, il est important de veiller à la préservation du bois lors de la conception et la mise en œuvre de la structure, en évitant que celle-ci soit exposée à une humidité constante et de longue durée.

La résistance et durabilité naturelle du bois sont variables en fonction des essences. Lorsque celle-ci est insuffisante par rapport aux risques encourus et à la durée de vie attendue, seule l'application d'un traitement de préservation peut assurer la protection nécessaire. A condition que la pénétration des produits de traitement dans le bois soit suffisante. On parle de durabilité conférée. Il existe différents types de traitements de préservation : par trempage ou aspersion, par badigeonnage ou par imprégnation.

Le traitement du bois n'est pas systématique ! Pour savoir s'il est nécessaire, il convient de déterminer la classe d'emploi du bois mis en œuvre ainsi que sa durabilité naturelle. Le schéma ci-dessous résume la démarche à suivre pour choisir de traiter ou non.

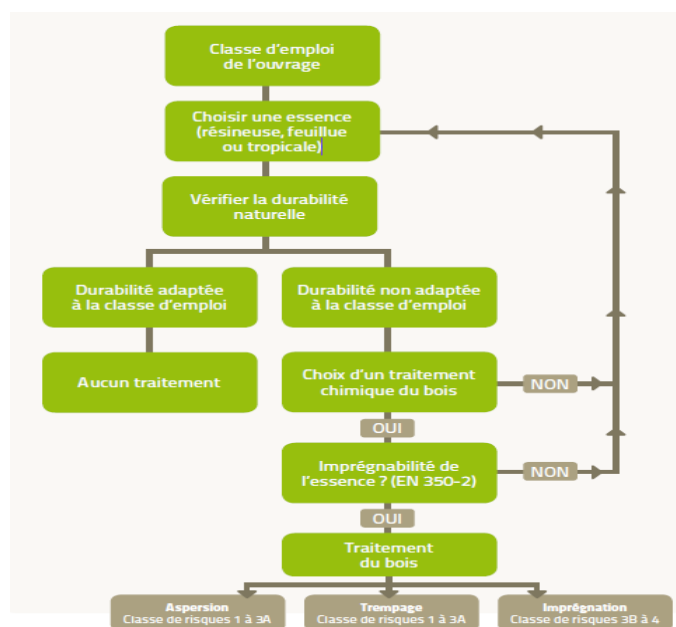


Figure : 2.3.3a : Arborescente à suivre pour le choix d'un bois naturellement durable ou traité

**NTOLLA François**  
**Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment**

Comme nous l'avons révélé dans des paragraphes précédents, il existe de multiples agents biologiques susceptibles de provoquer la dégradation du bois.

Or, aussi bien pour les champignons lignivores que pour les insectes xylophages, le facteur limitant le développement est très souvent l'humidité.

Il existe donc une très forte corrélation entre le milieu où se trouve le bois de structure et les attaques d'agents biologiques destructeurs.

Par exemple, on comprendra aisément que le bois conservé à l'abri, en milieu fermé et sec, a une durée plus étendue que le même bois mis au contact du terrain humide.

La norme NF EN 335-2 définit, cinq classes de risque, qui se distinguent en fonction de l'humidité à laquelle le bois est exposé dans les différentes conditions d'utilisation.

Plus le risque est élevé, plus la nécessité d'augmenter la résistance naturelle du bois par des traitements d'imprégnation s'affirme. (voir tableau ci-dessous)

Classes de risque	Emplois du bois	Essences naturellement résistantes	Présence de coléoptères	Présence de termites	Présence de champignons
1	Bois hors sol, toujours sec, à l'abri de l'humidité <b>humidité &lt; 18 %</b> <u>Exemples:</u> escalier, parquet, et Menuiserie intérieure	presque toutes sauf résineux : sapin, épicéa feuillus : hêtre, érable	OUI	OUI dans les régions infestées	NON
2	Bois sec, hors sol, dont la surface est humidifiée temporairement ou accidentellement. <b>humidité &gt; 20 %</b> <u>Exemples:</u> charpente, ossature correctement ventilée	résineux : mélèze, pin, douglas, cèdre rouge feuillus : noyer, chêne, châtaignier, robinier	OUI	OUI dans les régions infestées	OUI moisissures à la surface
3	Bois hors sol, non couvert, soumis à des alternances humidité / sécheresse <b>humidité &gt; 20 %</b> <u>Exemples:</u> fenêtre, bardage.	résineux : cèdre rouge feuillus : chêne, châtaignier, robinier	OUI	OUI dans les régions infestées	OUI Pourritures
4	Au contact du sol ou de l'eau douce et exposé en permanence à l'humidité. <b>humidité &gt; 20 %</b> <u>Exemples :</u> balcons, poteaux et coursives...	feuillus : robinier essences tropicales : iroko, bété, makoré...	OUI	OUI	OUI pourritures profondes (sur tout le volume)
5	Au contact permanent de l'eau de mer. <b>humidité &gt; 20 %</b> <u>Exemples:</u> piliers, pontons et bois immergés.		OUI		OUI pourritures profondes (sur tout le volume)

*Tableau: 2.3.3 b: Définition des classes de risques d'après la norme NF EN 335-2*



### 2.3.3.1 Utilisation des bois sans traitement

Le bois est plus ou moins durable (résiste aux agressions) naturellement. Cette durabilité varie en fonction des essences. Dans le tableau ci-dessous (tiré de la norme NF EN 350-2), on peut vérifier si oui ou non l'essence est naturellement durable en fonction des classes de risque.

Essences	Classes de risque			
	1	2	3	4
Résineux				
Douglas	OUI	OUI	OUI	NON
Epicéa	NON	NON	NON	NON
Mélèze	OUI	OUI	OUI	NON
Pin sylvestre	OUI	OUI	OUI	NON
Sapin	NON	NON	NON	NON
Western Red Cedar	OUI	OUI	OUI	NON
Feuillus des zones tempérées				
Châtaignier	OUI	OUI	OUI	OUI
Chêne blanc européen	OUI	OUI	OUI	OUI
Chêne rouge américain	OUI	OUI	NON	NON
Hêtre	NON	NON	NON	NON
Peuplier	NON	NON	NON	NON
Robinier (faux acacias)	OUI	OUI	OUI	OUI
Feuillus des zones tropicales				
Teck	OUI	OUI	OUI	OUI

*Tableau: 2.3.3.1: Utilisation des bois sans traitement d'après la norme NF EN 335-2*

Exemple d'interprétation :

Le douglas est naturellement durable pour les classes 1, 2 et 3. Donc il n'a pas besoin de traitement si on l'utilise dans ces classes. En revanche, il aura besoin d'un traitement pour être placé en classe 4.

### 2.3.3.2 Détermination de la zone de vulnérabilité

Celles-ci déterminent la sensibilité du bois aux agents biologiques (champignons, insectes xylophages, térébrants marins) selon sa situation dans la structure de l'ouvrage.

La détermination de la zone de vulnérabilité en fonction des classes de risque, les agressions attaquent plus ou moins en profondeur. Donc, afin de limiter le coût du traitement, on traitera simplement la partie à risque.

Classes de risques	Risques	Zone vulnérable
	Insectes (I)	
	Champignons (C)	
	Térébrants marins (1)	
1	I	0 à 3 mm
2	I, C	0 à 3 mm
3A	I, C	0 à 3 mm
3B	I, C	> 6 mm en latéral et de 30 à 60 mm en bois de bout
4	I, C	Tout le volume
5	I, C, T	Tout le volume

*Tableau: 2.3.3.2: Détermination de la zone de vulnérabilité en fonction des classes de risques*

- Il existe différents trois types de traitements de préservation en fonction de la classe d'emploi visée :

- Traitement par trempage court :

Les pièces de bois sont immergées quelques minutes dans un bac contenant des produits de préservation organiques ou des émulsions avec des molécules actives qui resteront en surface. Ces procédés permettent au produit de traitement de pénétrer dans le bois jusqu'à plusieurs millimètres par capillarité. La pénétration du produit sera fonction de l'imprégnabilité de l'essence, de l'état de surface de la pièce de bois et de la durée de trempage.

- Traitement par badigeonnage, pulvérisation :

Pour les classes d'emploi de 1 à 3A, le traitement s'effectue en surface par aspersion ou par trempage. Lorsque le bois doit être retaillé, la solution de traitement doit être appliquée au badigeon sur les coupes. Le principe consiste à appliqué à la surface du bois un produit de préservation, de façon à augmenter les caractéristiques de durabilité initiale du bois.

- Traitement par autoclave, c'est-à-dire par imprégnation

Pour les classes d'emploi 3B et 4, les bois sont traités par autoclave ou imprégnation en partie ou en totalité de l'aubier. Le principe consiste à saturer de produit de préservation toutes les cellules du bois selon un procédé par vide et pression, ou selon un procédé par double vide.

Le procédé de traitement par autoclave le plus couramment utilisé est le traitement par « injection à refus », appelé également procédé Béthel.

Les bois utilisés en autoclave doivent être d'abord séchés pour atteindre une hygrométrie inférieure à 25%. Cette étape permet d'assurer une meilleure imprégnation du produit dans les cellules.

- Les produits utilisés en autoclave sont surtout des produits hydrosolubles de type sels métalliques. Dans les deux cas (traitement de surface ou d'imprégnation), les bois traités doivent être stockés à l'abri des intempéries pendant au moins 48h afin d'éviter le lessivage des produits de traitement.
- Les produits utilisés pour les traitements par trempage sont :  
Des produits organiques, qui contiennent des solvants pétroliers,  
Des Emulsions, qui utilisent l'eau comme véhicule associée à des substances de synthèse non hydrosolubles

Tous ces procédés de traitements de préservation ne garantissent pas un traitement définitif du bois, leur efficacité de préservation dépend pour la plus part de l'imprégnabilité du bois et reste limitée dans le temps. Raison pour la quelle il est conseillé d'entretenir la structure porteuse, car pour durer, le bois doit être entretenu comme tous les matériaux ou presque.

Car la structure porteuse n'est jamais à l'abri d'une infiltration d'eau accidentelle, il est donc préférable pendant les études (l'avant projet - projet) de bien choisir des essences naturellement durables et de vérifier la concordance l'hygroscopique de l'arbre par rapport au site. Cette exigence de durabilité doit rester une préoccupation majeure pour la conception et le choix de l'essence. Si la vulnérabilité d'un élément secondaire, tel qu'un bardage facilement remplaçable, peut être admise, la pérennité d'un élément de structure primaire doit être maximale.

Les essences tel que le Pin Sylvestre ou le Douglas, très largement présentes en France répondent à cette exigence de durabilité, et le Douglas, notamment, s'avère être économiquement compétitif.

### 2.3.3.3 Aspect environnemental

La préservation du bois mettant souvent en œuvre des produits biocides, elle peut avoir des effets négatifs sur l'environnement. Les risques les plus importants relatifs aux produits de préservation se trouvent en amont, lors du traitement, et en aval, lors de l'élimination du matériau (difficulté de recyclage du bois, d'où une nécessité d'incinération). Et la recherche du tout naturel

L'impact environnemental des produits dérivés du bois provient essentiellement des adjuvants issus de l'industrie chimique telle que les adhésifs et les produits de traitement. Sa gestion reste complexe et la recherche du tout naturel ne s'avère pas forcément être la solution optimale.

Notons que les bois modifiés (thermiquement) ont un meilleur profil écologique que les bois traités par des agents fongicides et insecticides, car ils n'utilisent aucune substance nocive pour l'environnement. Néanmoins, les traitements thermiques demandent beaucoup d'énergie et rejettent des eaux de cuisson qui contiennent des extraits naturels dégradés par l'effet du chauffage.

La plupart des produits de traitement contiennent des solvants organiques, des pigments minéraux et des charges qui peuvent créer des problèmes de santé, essentiellement lors de leur application. Ils peuvent également limiter le potentiel de recyclage du matériau et causer des pollutions lors de leur élimination.

Pour limiter l'impact sur l'environnement et la santé des produits de finition, les tendances dans l'industrie ces dernières années sont l'abandon des pigments dérivés du cadmium, du plomb et du chrome, des phtalates, et la réduction des teneurs en solvants.

Pour limiter l'impact environnemental de ces substances, on peut se fier à deux labels :

- Le label écologique européen, comme la FDES « Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire » qui garantit une teneur limitée en solvants organiques, l'absence de certains minéraux tels que plomb, cadmium, chrome et mercure, et l'absence d'agents actifs biocides.

- Les certifications officielle écologique française NF environnement assure que le produit est conforme à des critères de performance technique tels que l'opacité, la durée de séchage, etc. et des critères écologiques : limitation des émissions de solvants lors de la fabrication, non utilisation de substances classées comme dangereuses, teneur réduite en composés organiques volatiles.

## **2.4. LES DIFFERENTS TECHNIQUES DE CONSTRUCTION BOIS**

### **2.4.1. Construction à ossature bois**

La technique de construction à ossature bois est la plus utilisée, elle fait l'objet de la norme NF P 21-204-1 et du DTU 31-2 (construction des maisons et bâtiment à ossature en bois).

Des montants et traverses de faibles sections (45x145mm) sont assemblés entre eux puis contreventés à l'aide d'un panneau bois fin (type OSB ou Agepan). Ces caissons forment la structure porteuse. Ils sont ensuite revêtus en extérieur et en intérieur par une finition adaptée et isolés entre les montants

La maison à ossature de bois, se distingue par les montants de sa structure qui ne font que la hauteur de l'étage. La maison se construit niveau par niveau avec, à chaque étage, une plate-forme servant à la fois de plancher et de plafond pour l'étage du dessous. La construction à ossature de bois est originaire d'Europe.

Elle nous est revenue aujourd'hui transformée et très améliorée. Des inventions telles que le contreplaqué et le clou tréfilé expliquent son succès faisant de cette maison une structure solide et de qualité. Plus récemment, depuis quelques décennies, les maisons individuelles font de plus en plus place aux constructions multi-logements et multiplex.

Entre les montants d'ossature, un isolant en plaques semi-rigides occupe toute la place vide disponible. Ce qui permet un gain de place sur la surface habitable du fait que l'isolation ne s'applique pas en surépaisseur comme dans les maisons traditionnelles. En matière d'isolation thermique, il n'existe actuellement aucun égal à la construction bois. Ce type de maison est idéal pour les zones sismiques, car l'ossature est à la fois rigide dans son ensemble, mais souple dans sa constitution. Elle résiste ainsi aux vibrations et aux mouvements du terrain sans risque de s'écrouler. Dans les zones à risques sismiques, seule la construction à ossature bois est autorisée.

Cette technique permet aussi bien la construction sur chantier que la préfabrication en atelier ou la fabrication complète en usine du tout ou d'une partie de la maison. Du fait de sa simplicité de mise en œuvre la maison est hors d'eau et hors d'air en quelques semaines. Aujourd'hui, il se construit près de deux millions de maisons à ossature bois dans le monde chaque année.

La construction ossature de bois est aujourd'hui la construction la plus courante des ouvrages en bois, la plus économique et la plus rapide...



Ce sont notamment les solutions des parois verticales du type « RUSTICAZA », qui ont été choisies dans le cadre du projet support de ce mémoire. Cette technique fait l'objet de la norme NF P 21-204-1 et du DTU 31-2 avec la constitution suivante de l'intérieur vers l'extérieur :

- 2 plaques de BA13 pour le faux plafond
- 1 pare vapeur
- Un isolant de 18.5cm (14+4.5) type « Isoconfort 32 thermo acoustique LV 80mm
- Une plaque de BA13
- Un panneau OSB de 12mm
- Isolation par l'extérieur
- Bardage, crépi de finition de 1.5cm ou parement de pierres
- Si bardage :
- Lame d'air par latte bois massif autoclavé 25x40mm
- Lame de bardage en bois massif 20x12 56mm de classe 3mm

#### 2.4.2. Construction en panneaux massifs

Le principe consiste à utiliser des panneaux massifs pour effectuer les murs porteurs, toitures et planchers. Ces panneaux sont constitués de plusieurs couches croisées de planches de bois collées. Ces constructions nécessitent une isolation rapportée par l'extérieur plus une finition (enduits, bardage bois).

Technique est essentiellement utilisée pour les bâtiments de grandes dimensions (collectifs, industriels et commerciaux), elle gagne peu à peu les maisons individuelles.

Ces panneaux de structure en planches contrecollées, dont les performances mécaniques sont supérieures au bois massif car ils peuvent travailler dans tous les sens, sont utilisés à la fois comme éléments de murs extérieurs, planchers, supports de couverture...

Les murs sont fabriqués en usine, aux dimensions exactes de la maison (avec les découpes des ouvertures). Ils sont composés de lames de bois massif, correspondant à 1 pli (environ 3 cm d'épaisseur), collées les unes aux autres. Chaque mur comprend un nombre impair de plis (3,5,7,9) et les plis sont croisés les uns par rapport aux autres (sens des lames alternés). Ces panneaux sont préfabriqués en usine, en grandes dimensions, et leur épaisseur peut aller jusqu'à 30 cm.

Cette technique de construction n'est pas traditionnelle et n'est pas couverte par un DTU ou une règle professionnelle. Les règles de conception et de mise en œuvre de ces constructions sont définies par les fabricants.



### 2.4.3. Construction poteaux poutres

La construction est composée d'un squelette structurel de poteaux, poutres, planchers et éléments de contreventements puis de parois de remplissages (parois isolantes, baie vitrées, portes). Les parois peuvent jouer un rôle structurel et peuvent avoir des conceptions variées.

La technique du poteau poutre est l'évolution de la construction à colombage. La structure porteuse de la maison est constituée de poteau et de poutre en bois lamellé-collé ou en bois massif, assemblés rigidement entre eux, qui lui donne une grande indéformabilité. Les assemblages se font bois contre bois, ils sont dits moisés, avec des poutres principales ou secondaires doubles.

Une poutre en lamellé-collé, comme son nom l'indique, est constituée de lames de bois collées entre-elles. Cette technologie permet d'avoir des bois très résistants et d'une très grande longueur, jusqu'à 40m. L'ensemble forme un système modulaire tridimensionnel qui se développe horizontalement et verticalement. La toiture est supportée par les poutres, elles-mêmes supportées par les poteaux qui transfèrent l'ensemble des charges au système de fondation. Cette ossature est stable sans la participation des façades, ce qui lui confère une grande souplesse architecturale en plan, en façade et en coupe.

Les panneaux de façade ne sont pas porteurs mais ils participent au contreventement latéral de la structure. Ces panneaux ont essentiellement un rôle d'enveloppe et constituent les parois extérieures du bâtiment.

C'est depuis la vulgarisation de ce bois lamellé-collé que la technique poteau poutre s'est vraiment développée, devenant en quelque sorte une version moderne de la construction à colombage.

Cette technique autorise une grande liberté architecturale et permet de créer des maisons modernes, très aérées, avec de grandes baies vitrées, des mezzanines, des puits de lumière. Beaucoup de maisons contemporaines marient l'ossature bois, pour ses avantages thermiques et acoustiques, et le poteau poutre pour disposer de grands volumes et de larges ouvertures.

Au delà des possibilités techniques et architecturales de ce type d'ouvrages, c'est toute une atmosphère, une chaleur, un contact avec le bois qui est apporté à l'intérieur.....



#### 2.4.4. Les différents types de plancher bois

Au sens général du terme, le plancher désigne la paroi horizontale du sol d'un étage. Le plancher bois proprement dit désigne la plate-forme recevant ou non un revêtement de sol et composée d'éléments en bois, planches ou panneaux. Cette plate forme repose elle-même sur une structure porteuse primaire, le solivage.

On distingue deux types de plancher à solivage en bois. Le plancher de bois traditionnel et le plancher mixte bois-béton (dit mixte ou collaborant).

##### 2.4.4.1 Plancher bois traditionnel

Le plancher de bois traditionnel est un plancher composé de panneaux ou de planches de bois reposant sur un solivage en (bois massif, reconstitué, lamellé-collé ou en poutres composite) et dont la partie inférieure (retombée) est apparente ou non apparente en sous – face. Léger, rapide et économique, le plancher à structure apparente est cependant plus délicat à réaliser en matière d'affaiblissement acoustique. Il convient d'utiliser un parquet flottant pour limiter les bruits d'impact.

En fonction des exigences pratiques, esthétiques, et techniques concernant la stabilité au feu, l'acoustique (bruits d'impact), les solivage sont soit apparents, soit non apparents cachés par un faux plafond. Le plancher est constitué de panneaux dérivés du bois type OSB ou contreplaqué.

Cette solution peut être préfabriquée en usine les espacements entre les solives permettant le passage des gaines et réseaux technique. Parmi les planchers traditionnels on distingue :

➤ Le plancher sur solivage non apparent : le plus pratique

Il existe deux catégories de plancher sur solivage non apparent, l'un est constitué de chape sèche et l'autre de chape flottante.

C'est un plancher composé de panneaux reposant sur des solives en bois massif ou non, cachées habituellement par un faux plafond.

Sobre et fonctionnel, ce plancher permet de loger dans sa réserve suspendue gainages techniques (eau, électricité, chauffage, ventilation, climatisation) et isolations thermo-acoustiques.

Ce sont notamment les solutions des parois horizontales du type « RUSTICAZA », qui ont été choisies dans le cadre du projet support de ce mémoire. Cette technique est conforme aux dispositions prévues dans le DTU 31-2 avec la constitution suivante du bas vers le haut :

- 2 plaques de BA13 pour le faux plafond
- 1 pare vapeur



- Une couche de laine minérale de 4.5cm d'épaisseur à 20kg/m<sup>3</sup>
- Une deuxième couche de laine minérale de 10cm à 23kg/m<sup>3</sup>
- Des poutres primaires et secondaires en ossatures porteuses
- Des tiges filetées pour les suspentes du faux plafond. Au droit des solives il sera mise en œuvre des tampons de sols élastiques modèles TS
- Des panneaux OSB de 22mm
- De la laine minérale de 3cm à 20kg/m<sup>3</sup>
- Un élastomère de 7mm type Tecsound
- De la laine minérale de 2cm densité à 90kg/m<sup>3</sup>
- Des panneaux OSB de 12mm
- Un polystyrène expansé de 3mm
- Une chape flottante acoustique plus (parquet carrelage etc.

➤ Le plancher sur solivage apparent : le plus esthétique

C'est un plancher composé de panneaux ou de planches de bois reposant sur des solives en bois massif ou non et dont la partie inférieure (retombée) est apparente en sous-face.

Léger, rapide et économique, le plancher à structure apparente est cependant plus délicat à réaliser en matière d'affaiblissement acoustique. Il convient d'utiliser un parquet flottant pour limiter les bruits d'impact.

#### 2.4.4.2 Plancher mixte bois-béton : le plus technique

C'est un plancher composé d'une dalle de béton reposant sur un solivage en bois massif ou non et recouverte ou non d'un revêtement de sol (moquette, parquet, revêtement plastique, etc...)

Il existe, pour ce type de plancher, deux modes constructifs qui sont l'utilisation de dalles de béton préfabriquées et la mise en place de bacs acier puis coulage du béton.

Ce type de plancher qui allie l'esthétique de la structure apparente en sous face et un bon indice d'affaiblissement acoustique grâce à l'apport d'une couche de béton sur un solivage en bois massif ou collé. Le plancher mixte est notamment recommandé pour renforcer les planchers anciens. Il permet aussi d'intégrer un chauffage eu sol et la pose de carrelages dans les pièces d'eau.

L'utilisation de bacs acier présente de nombreux atouts du fait de ses multiples rôles : ils répondent en effet à un certain critère esthétique mais servent avant tout de coffrage à la dalle béton lors de la fabrication, évitant ainsi le coût de transport et autres inconvénients générés par l'utilisation de dalles préfabriquées.

Pour tous les types de plancher il est bien sûr possible d'opter pour une solution avec retombée masquée au profit d'une isolation (laine de verre, laine de roche, etc...)

Par la suite, nous nous limiterons à l'étude des planchers bois traditionnels.

## 2.5. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

### 2.5.1. Rappel des critères d'exigences du maître d'ouvrage

Plusieurs critères entrent en compte dans le choix d'une construction à ossature bois, tour d'horizon des éléments qui on permis au maître d'ouvrage de prendre cette décision :

### 2.5.2. Critères d'exigences techniques

L'étude se base pour l'essentiel sur les exigences classiques de respect des normes et les règlements pour les structures en bois, le projet comporte des exigences techniques déterminantes pour la conception de la structure.

Notre projet s'inscrit sous la réglementation de l'arrêté 25 mars 2010 relatif à l'utilisation du bois dans certaine construction.

Vu le code de l'environnement, notamment son article L. 224-1;

Vu la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement ;

**Article1** Les dispositions du présent décret s'appliquent aux constructions de bâtiments neufs à l'exclusion de ceux pour lesquels le maître d'ouvrage justifie de l'incompatibilité de l'utilisation du bois avec le respect des exigences réglementaires de sécurité ou de santé ou avec une fonction du bâtiment.

**Article2** La quantité de bois incorporé dans une construction est mesurée par le volume du bois mis en œuvre rapporté à la surface hors œuvre nette (SHON) de cette construction.

I. — Pour les bâtiments dont la demande d'autorisation de construire ou la déclaration préalable est déposée entre le 1er décembre 2010 et le 30 novembre 2011, cette quantité ne peut être inférieure à :  $20 \text{ dm}^3/\text{m}^2$  de surface hors œuvre pour un immeuble à usage d'habitation ne comportant pas plus de deux logements destinés au même maître d'ouvrage ; toutefois, les bâtiments dont la charpente de toiture est réalisée

II. — Pour les bâtiments dont la demande d'autorisation de construire ou la déclaration préalable est déposée à partir du 1er décembre 2011, cette quantité ne peut être inférieure à :  $35 \text{ dm}^3/\text{m}^2$  SHON pour un immeuble à usage d'habitation.

Du point de vue thermique, le projet s'inscrit sous la réglementation de l'arrêté du 03 mai 2007, relatif à la réglementation et aux caractéristiques thermiques « RT2005 » et aux exigences de performances énergétiques des bâtiments nouveaux.

Sur le plan acoustique, il dépend de l'arrête de 30 Juin 1999 relatif à la réglementation applicable aux bâtiments d'habitations.

Du point de vue confort et santé, le projet insiste sur les matériaux naturel, sain et noble, un matériau électriquement neutre (sans électricité statique). Le confort acoustique et thermique est assuré par l'application des normes en vigueur.

Enfin le projet insiste sur le fait que le bois permet une régulation hygrométrique des parois et de la pièce, il permet une régulation naturelle et une amélioration globale de la qualité de l'air intérieur et il confère un environnement chaleureux et agréable.

### 2.5.3. Critères d'exigences architecturales

Du point de vue architectural, les critères d'exigences portent à la fois sur la souplesse de conception « des voiles intérieurs et extérieurs » en permettant une expression architecturale très vaste qui privilégie l'espace en optimisant le confort. L'attente est d'offrir aux futurs propriétaires des maisons pensée et élaborée au cas par cas en fonction des désirs du maître ouvrage car ne pas avoir une maison comme tout le monde est d'ailleurs l'une des premières motivations des clients.

Construire en bois n'impose que très peu de limitations dans les formes et les dimensions. En claire, on peut quasiment construire ce que l'on veut en bois quel que soit le style (moderne, traditionnel, contemporain) dans un large éventail de formes, dans ce programme l'ossature bois permet de recevoir des parements divers : bardages, pierre, mortier,... et s'inscrire dans la tradition de paysage.

Dans ce projet le but principal est de proposer aux futurs clients une architecture moderne, contemporaine, calme, chaleureuse, conviviale, accueillante, sécurisante et spacieuse. Le projet présente des atouts majeurs « la finesse des lignes, son originalité par rapport aux constructions environnantes.

Dans ce projet, il est également possible d'adapter tous les styles de revêtements (intérieurs et extérieurs), ouvrant ainsi à l'infini la palette de coloris et de matière.

Autre aspect particulièrement intéressant du projet, il est possible de modifier la réalisation avec une étonnante facilité, qu'il s'agisse de construire une extension, agrandir ou réduire des pièces.

Ce projet permet ainsi des réalisations à la fois performantes et esthétiques, selon un planning souple et un programme constructif évolutif. Selon La maîtrise d'œuvre et la maîtrise ouvrage la conception en ossature bois est une technique de construction qui sait s'adapter à un budget... et aux envies des clients.

#### 2.5.4. Critères d'exigences de durabilité, et d'entretien

Le bois est un matériau naturel et biodégradable. Il est durable comme le prouvent les structures en bois parfaitement intactes retrouvées dans des pays comme le Japon, l'Égypte. La cathédrale Notre-Dame de Paris est construite depuis le Moyen-âge sur pilotis de bois...etc. De nombreux bâtiments en bois parfaitement conservés, datant de plusieurs centaines d'années, apportent la preuve de l'excellente longévité de la construction en bois. C'est la qualité de la conception le soin apporté à l'exécution et à l'entretien qui déterminent la longévité d'un ouvrage et permettent de limiter voire d'éviter les attaques biologiques.

Comme tous les êtres vivants, les agents destructeurs du bois ont besoin d'eau, d'air et d'une température adéquate pour se développer. En l'absence d'une seule de ses composantes la dégradation est stoppée.

A l'intérieur de bâtiments chauffés, il présente une faible teneur en eau qui supprime les risques de dégradation. Pour les parties exposées à une humidité passagère et pouvant sécher correctement, telles que les revêtements de façade, le risque est négligeable.

Dans notre projet le maître d'ouvrage insiste sur la nécessité, d'avoir tout au long de l'avant projet sommaire (APS) une démarche permettant au maître d'œuvre et au bureau d'études de fournir une proposition technique quant à la réponse apportée au problème posé sur la durabilité et l'entretien du bâtiment, en termes de principes, et de conception architecturale. Cette démarche vise à respecter les critères d'exigences de durabilité dans le but de limiter les coûts d'entretien du bâtiment et favoriser la notion de coût global dans le but d'assurer la pérennité de l'investissement initial.

#### 2.5.5. Critères d'exigences environnementales

Notre projet définit un profil environnemental sur la base des cinq cibles du label BBC. Parmi les exigences de base telle que la conception architecturale, sont particulièrement attendus les confort hygrothermiques, acoustiques, étanchéités à l'air, et une bonne gestion de l'énergie (énergie solaire, ventilation, eau chaude sanitaire).

L'installation dans chaque bâtiment, d'un système de ventilation à double-flux combiné avec des capteurs solaire (panneaux photovoltaïques), atteste de la sensibilité du maître d'ouvrage pour les notions de développement durable et de qualité environnementales.

Grâce à l'association des capteurs solaires et d'un système de ventilation à double-flux, l'ensemble permet :

D'une part de produire de l'eau chaude sanitaire en réunissant les avantages des deux technologies.

D'autre part le système double-flux permet de chauffer tout le bâtiment, grâce à un échange de chaleur entre l'air du bâtiment et l'air frais, on réchauffe l'air frais avec la chaleur de l'air évacué, sans mélanger les flux. On peut récupérer jusqu'à 90% des calories extraites, à condition que le bâtiment soit étanche à l'air, car tout neuf entrant doit passer par l'échange de chaleur.

#### 2.5.6. Le bois un matériau facile à mettre en œuvre

Les architectes et les constructeurs sont unanimes : construire avec du bois est un plaisir. Les pièces de bois sont de plus en plus souvent pré-assemblées en atelier, sur les chaînes de production numérisées. Le montage est très rapide. Le chantier ne nécessite pas d'eau lors de sa phase constructive, il n'y a aucun temps de séchage à respecter, tout est plus rapide, moins aléatoire, et les travaux laissent le site relativement propre et sec.

## 2.6. PRESENTATION DU PROJET

### 2.6.1. Description du projet

Le présent projet porte sur la réalisation de logements individuels R+2 sur un sous-sol commun de 1 niveau, localisés au 103, rue Filliette Nicolas Philibert à Rueil-Malmaison 92500.

Pour le compte de **SCI GWADELITE PROMOTION**, le bureau d'études R2M Consultants a été missionné pour réaliser le projet de construction des trois bâtiments cités ci-avant dont le **label BBC** est l'objectif à atteindre.

La durée prévisionnelle des travaux est de 8 mois y compris les délais de préparation d'installation et de levée des réserves.

### 2.6.2. Situation géographique

La situation géographique du terrain favorable à la destination du projet, car la rue Filliette Nicolas Philibert se trouve dans la zone résidentielle et les bâtiments sont à la fois proches des commerces, école, clinique sans oublier le château de Malmaison.

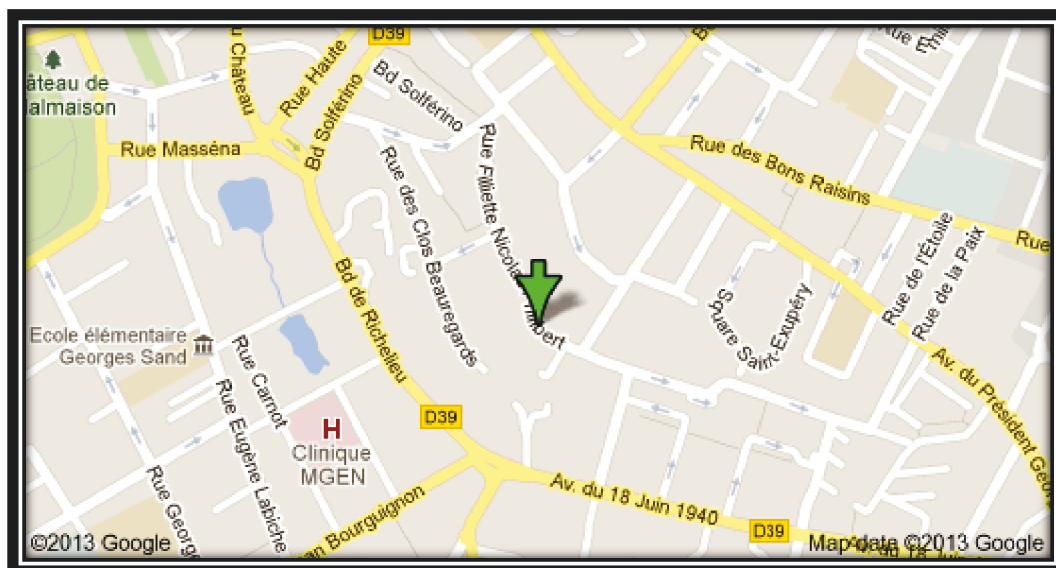


Figure : 2.5.2. Situation géographique du projet

### 2.6.3. Description des logements

Trois logements individuels de haut de gamme de surface importante composent le bâtiment. Les trois logements s'inscrivent dans un parc de superficie totale de **945 m<sup>2</sup>**, avec jardin privatif pour chaque logement, une zone de parking de 9 places avec des locaux techniques et un rez de chaussée inférieur occupent une partie du sous-sol soit **395 m<sup>2</sup>**. Les

logements sont repartis, un rez de chaussée et deux étages. Les logements répondent au label BBC qui a pour exigence principale de ne pas dépasser une valeur de consommation de 50kWh/m<sup>2</sup> de SHON (Surface Hors Œuvre Nette) par an.

- La Surface Hors Œuvre Brut « SHOB » est de **624 m<sup>2</sup>**
- la Surface Hors Œuvre Nette « SHON » est de **539 m<sup>2</sup>**
- La surface moyenne habitable est de **180 m<sup>2</sup>**.
- La surface des baies vitrées au Sud est de 23.25m<sup>2</sup>.
- La surface des baies vitrées au Nord est de 28.80 m<sup>2</sup>.
- La surface totale des verticaux (superstructure) est de 1642.59m<sup>2</sup> pour un volume de 329m<sup>3</sup>.
- La surface totale des planchers haut RDC et 1<sup>er</sup> étage est de 385 m<sup>2</sup> pour un volume de 57 m<sup>3</sup>.



*Photos : 2.5.3a. Projet Filliette Nicolas Philibert, réalisation des fondations+parking*



*Photos : 2.5.3b. Projet Filliette Nicolas Philibert, cyclage des travaux de la superstructure*

#### 2.6.4. La démarche de la maîtrise d'œuvre

Dans le projet de VILLA PHILIBERT « construction de 3 logements individuels », la maîtrise d'œuvre a été attribuée à deux cabinets :

R2M Consultants un bureau d'études techniques - cabinet d'ingénierie basé à Noisy le Grand, qui assure le management des travaux mais également la conception technique de l'infrastructure en béton armé ainsi que la suivie du projet dans son ensemble, le pole génie climatique et thermique CVC prend en charge la réalisation de l'étude thermique.

Le cabinet Charles CARRE Architectures, basé à Noisy le Sec a pour mission d'assurer la conception architecturale du projet et la demande d'autorisation jusqu'au plan d'exécution architecte. Cependant les détails de conception de la superstructure en ossature bois ne font pas parti de sa mission, ceux-ci sont en charge de l'entreprise RUSTICASA, l'ensemble de la superstructure sera réalisé en bois conformément aux dispositions prévues dans l'EUROCOD 5, mais l'architecte demeure tout de même maître du concept architecturale de son projet. R2M Consultant a également mandatés :

- La société ENNEADIAG pour le diagnostic immobilier de l'ouvrage à démolir ;
- GEO EXPERTS pour les études géologiques et géotechniques ;
- Le bureau de contrôle Veritas ;
- Qualiconsult Sécurité comme coordonnateur SPS ;

Pour un bon déroulement du projet et pour optimiser les échanges entre tous les intervenants, R2M Consultants a fixé un schéma managérial de communication. Toutes les informations ainsi que les documents doivent passer par R2M Consultant avant d'être diffusé aux autres intervenants du projet.

#### 2.6.5. Le marché

Comme le précise le Cahier des Clauses Administratives Particulières « CCAP » le projet VILLA PHILIBERT est reparti en 16 lots, qui sont traités par marché à lots séparés. (voir tableau)

Désignation des lots	
Lot 01	DEMOLITIONS - EVACUATIONS
Lot 02	TERRASSEMENT – GROS ŒUVRE
Lot 03	ETANCHEITE
Lot 04	ISOLATION- RAVALEMENT-PEINTURE-ECHAFFAUDAGE
Lot 05	MENUISERIES EXTERIEURES+VOLETS ROULANT
Lot 06	PLATERIE (CLOISONS – DOUBLES - FAUX PLAFOND)
Lot 07	PLOMBERIE - VENTILLATION - CHAUFFAGE
Lot 08	ELECTRICITE
Lot 09	MENUISERIES INTERIEURES GAINES TECHNIQUES
Lot 10	REVETEMENTS INTERIEURES
Lot 11	METALLERIE/SERRURERIE
Lot 12	COUVERTURE ZINGUERIE+POSE PANNEAUX PHOTOVL
Lot 13	PORTE PARKING
Lot 14	PHOTOVOLTAIQUE
Lot 15	ESPACES VERTS
Lot 16	STRUCTURE BOIS + BARDAGE BOIS + CHARPENTE + POSE MENUISERIES EXTERIEURS

*Tableau : 2.5.5. Désignation des différents lots du marché*



L'opération est prévue pour un montant total de 685 744.15 € HT. Ce montant se divise en trois, donc 11 698.20 € HT Pour la démolition, dépose et évacuation des déchets l'ancien bâtiment, 674 045.50 € HT pour le terrassement et gros œuvre pour la partie infrastructure en béton armé et pour la superstructure (finitions lots 3 à 16).

#### 2.6.6. Situation topographique

Le site s'insère dans une pente généralement moyenne de 2 à 5% en direction du Sud Ouest. Et se place dans une altimétrie voisine de +85 à 86m NGF.

- Altitude moyenne ..... <200m
- Distance à la mer.....<200m
- Situation particulière..... Néant

#### 2.6.7. Risques liés à l'environnement

La parcelle recevant le projet se place à proximité d'une zone d'anciennes carrières d'exploitation à ciel ouvert aujourd'hui remblayée. D'après l'Atlas des carrières (feuille n°7-40) publiée par l'inspection générale des carrières (IGC), le projet se place en dehors des zones d'exploitation. Et il se trouve en dehors des zones soumises à réglementation, d'après la carte des zones à risque de carrière approuvée par arrêté préfectoral du 07/08/1985 et ayant valeur de Plan de Prévention des Risques (PPRI).

- Atmosphère agressive « NON »
- Zone inondable « NON ». Risque d'effondrement « NON »
- Risque liés au tassement « NON »
- Risque d'éboulement ou de glissement « NON »
- Risque de modification importante de l'équilibre hydrogéologique « NON »
- Présence d'avoisinants « OUI »
- Présence d'existant « OUI »

### 2.6.8. Classement du bâtiment

Notre bâtiment est assujéti à la réglementation contre l'incendie basée sur l'arrêté du 31 Janvier 1986, dont le but principal est soit d'évacuer rapidement les occupants des logements à l'extérieur du bâtiment, soit d'assurer leurs mise à l'abri vers des zones protégés dans l'attente de l'arrivée des secours. Tout ceci conduit à choisir et à dimensionner les matériaux de construction du projet en fonction de leur comportement en présence du feu. Ci après, le tableau récapitulatif de synthèse de classement du bâtiment en sécurité contre l'incendie.

Articles	Observations
3	Les bâtiments sont classés en 2eme famille, individuel
5	Les éléments porteurs verticaux : SF ½ heure pour la superstructure
6	Les éléments porteurs horizontaux : CF ½ heure pour la superstructure
7	Recoupement vertical des bâtiments : longueur maximales : inferieure à 45 mètres
8	Parois séparatives : CF ¼ d'
11-12-13	Revêtement de façades : Classé M3
14	Façades avec ouvertures : Non assujéti aux bâtiments
15	Couvertures : M0
16	Isolation des parois par l'intérieur : dispositions prévues dans le cahier CSTB N°1624 et ou N°3231 de juin 2000
19-20-21	Parois des cages d'escalier non situées en façades
25	Désenfumage des cages d'escalier Au dernier niveau il est prévu un châssis de désenfumage de 1m <sup>2</sup> miné, ce dernier sera fermé en temps normal et de surface utile d'au moins 1m <sup>2</sup> , à commande mécanique, électrique, pneumatique, hydraulique, électromagnétique. La commande du désenfumage sera positionnée à l'abri des fumées au RDC et sera réservée aux services de secours
44 à 63	Gaines pour colonnes montantes électricités : matériaux incombustibles PF ¼ heure
80	Revêtements conforme à : - Plafond et murs : M0 - Sols : M3

Tableau : 2.5.8. Classement du bâtiment en « sécurité contre l'incendie »

## **2.7. POURQUOI UNE STRUCTURE BOIS INEDITE ?**

L'idée de réaliser le projet en structure à ossature bois a germé en cours de l'Avant Projet Sommaire (APS), sur un constat très simple de la maîtrise d'œuvre, être parmi les premiers en Ile de France à réaliser trois habitations individuelles groupées haut de gamme (R+2) à 90% en structure bois, compris les cages d'escalier. Il s'agit de trois logements, appuyés sur une base en béton armé (parking R-1 de neuf places). Le bâtiment, dont l'architecture est rationnelle (exigence environnementale), prend place dans un quartier résidentiel entièrement construit en béton, et s'insère en courtoisie avec l'environnement. Il reprend la typologie des habitations bioclimatiques de riches maîtres d'ouvrage, aux Etats-Unis, en Norvège, en Allemagne...etc. Les lignes ultra-épurées du bâtiment introduit une vibration contemporaine dans le quartier. En effet, le projet initial était développé sur une base d'une structure en béton armé.

Autre avantage du bois, la rapidité du montage, seulement cinq jours pour monter les trois niveaux. L'entreprise Portugaise (RUSTICASA) en charge de la réalisation a fourni l'ensemble des panneaux et ossatures structuraux en bois lamellé collé (épicéa – douglas) permettant une bonne stabilité de la structure. Les moyens matériels et humains sont: une pelle élévatrice et trois ouvriers. De plus, le bois permet un chantier propre, avec peu de nuisances.

Enfin, un choix décisif, le prix (moins élevé que la structure en béton), en plus, la légèreté du système constructif à ossature bois permet de substantielles économie sur le poste « fondation », le système permet de pré fabriquer en atelier tous les composants de la structure.

Selon la maîtrise d'œuvre, intégrer une structure bois dans les villes permet d'humaniser l'urbanisme de façon durable.

En effet, le projet initial était développé sur une base d'une structure en béton armé. Cependant, compte tenu du contexte économique et les avantages que suscitent la construction à ossature bois, sans oublier l'intérêt du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre pour ce système constructif qui permet non seulement de faire des économies sur le budget du projet, et aussi une fantastique expression architecturale. Voilà pourquoi le bureau d'études R2M CONSULTANT a été amené à étudier le bâtiment à ossature bois.

## 2.7.1. Cohérence de la structure avec le projet

### 2.7.1.1 D'un point de vue technique et économique

Les principales raisons de la construction à ossature bois furent le délai et le prix. Un bâtiment bois peut être livré très rapidement, du fait, d'une construction entièrement préfabriquée en usine et livrée sur site, ne nécessitant pas de temps de séchage, moins onéreuse en ce qui concerne les matériaux, comparativement à une conception en béton ou le temps de construction est élevé et immobilise plus de frais.

Entre le démarrage des travaux et la livraison du bâtiment, moins de cinq mois peuvent s'écouler.

- Le projet de construction à ossature bois apporte beaucoup de réponses aux exigences de la maîtrise d'ouvrage à savoir :
  - Un chantier sec, rapide et propre écologiquement et visuellement
  - Moins d'impact environnemental
  - Structure légère, qui limite les fondations et permet une adaptabilité à n'importe quel terrain
  - La préfabrication en usine permet d'optimiser les délais
  - Une précision accrue au montage
  - Le bois permet de concilier audace architecturales et rendement de plans
  - Un confort et santé, le bois est un matériau naturel, sain et à la fois noble
  - Le bois permet une régulation hygrométrique des parois et de la pièce

Le déroulement d'un chantier de construction en ossature bois est plus rapide donc va nécessiter moins de main d'œuvre et d'usage de matériels lourds, source également d'économies et de moins impact environnemental.

La maison à ossature bois est considérée comme économique si l'on compare le rapport prix/temps de construction.

Une autre technique du projet, une combinaison bois/béton armé, le projet intègre une infrastructure en béton armé (parking et locaux techniques) support principal de la superstructure en ossature bois. Cette combinaison permet de :

- Facilité l'entretien des réseaux du bâtiment
- A l'ouvrage en béton armé (parking) participe au confort thermique l'été, car le béton est peu perméable à l'eau, il présente un faible temps de transfert de la chaleur estivale
- Créer une interface « sol/bâti » entre le terrain naturel et la superstructure bois, (interface horizontale et parties verticales enterrées) ainsi qu'au niveau de l'ensemble des réservations et points singuliers de façon à bloquer tout passage potentiel au niveau de la future construction.

Outre les mesures structurales nécessaires, il faut prévoir une protection chimique préventive pour les éléments en bois ou en dérivés du bois dont dépend de la solidité d'un bâtiment. La désolidarisation sol/bois s'avère obligatoire afin de garantir la pérennité de la structure. Car les facteurs d'agression du bois sont bien connus : l'eau et le soleil avec, en corollaire, les champignons et les insectes.

Rappelons-le, un bois sec est éternel. Une réalisation soignée, sans aucun risque de rétention d'eau, améliorera la vie de la structure et l'épargnera bien des problèmes d'humidité et d'agents agressifs. Il est donc nécessaire d'interposer des matériaux moins sensibles à ses agents agressifs, à savoir le béton et les barrières physico-chimiques.

Les barrières physico-chimiques : Il s'agit d'un produit manufacturé composé d'un support physique (film ou autre matériau) dans lequel ou sur lequel ont été introduites une ou des substances biocides



*Figure 2.6.1.1a: coupe type sur une barrière physico-chimique, protection sous-sol*



*Photo 2.6.1.1b: exemple de protection contre les insectes des parties verticales enterrées du Chantier*



*Photo : 2.6.1.1c : réalisation des talonnettes en BA. Désolidarisation sol (jardin)/bois*



*Photo : 2.6.1.1d : talonnette qui sert de jonction entre ossature bois et le sous-sol en B. Désolidarisation sol (jardin)/bois*

Le fait qu'une construction en bois soit plus légère que son équivalente en matériaux traditionnels fait qu'elle nécessite des fondations moins importantes et moins compliquées, donc plus de rapides à réaliser. De nombreux éléments construits en ateliers ne nécessitent plus qu'un simple assemblage sur le terrain, ce qui réduit les délais lors de la mise en œuvre sur chantier et assure une grande précision d'exécution. La rapidité de montage permet d'obtenir un gros œuvre fermé au vent et à la pluie en quelques jours seulement.

De plus, il ne faut pas attendre de séchage de chapes et maçonneries avant de commencer les finitions.

### 2.7.1.2 D'un point de vue environnemental

Le bois est un des rares matériaux 100% naturel. Ses principaux composants chimiques sont le carbone, l'oxygène et l'hydrogène. C'est également une matière organique principalement constituée de cellulose et de lignine renfermant un faible pourcentage d'éléments minéraux et une part d'humidité variable.

Un peu délaissé depuis plusieurs décennies, au profit de matériaux comme le béton, le plastique, le PVC, le métal ou l'acier, le bois revient en force et redevient incontestablement à la mode. Il est utilisé dans la construction (ossature, poutre, solive, mur, charpente), dans l'aménagement intérieur (escalier, parquet), et à l'extérieur (bardage, terrasse, clôture) ou dans l'ameublement.

La construction en bois, redécouverte suite à l'éveil des consciences écologiques redonne au bois une place de choix dans la construction des habitats écologiques.

D'une part l'utilisation massive du bois dans la construction permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre et, de ce fait, lutter efficacement contre le changement climatique, elle favorise aussi le renouvellement régulier des peuplements dans la forêt. Le bois est un véritable « puits de carbone », c'est-à-dire qu'il est le seul matériau de construction qui absorbe du CO<sub>2</sub>, principal gaz responsable du réchauffement climatique, pour relâcher l'oxygène dans l'atmosphère. Car pendant sa croissance, le jeune arbre absorbe du carbone, (CO<sub>2</sub>) avec lequel il fabrique les cellules bois et rejette de l'oxygène dans l'atmosphère. A la majorité de l'arbre, ce processus ralentit d'où la nécessité de replanté de jeunes arbres pour conservé l'équilibre.

D'autre part, une fois, coupé et scie, le bois continue sur le long terme à stocker le CO<sub>2</sub>. Exemple le bois valorisé sous forme de meuble ou bâtiment est un stock de CO<sub>2</sub>.

Contrairement aux idées reçues, l'exploitation du bois n'est pas néfaste à la forêt, bien au contraire, la récolte du bois favorise le renouvellement régulier des forêts, à condition qu'elle soit gérée durablement.

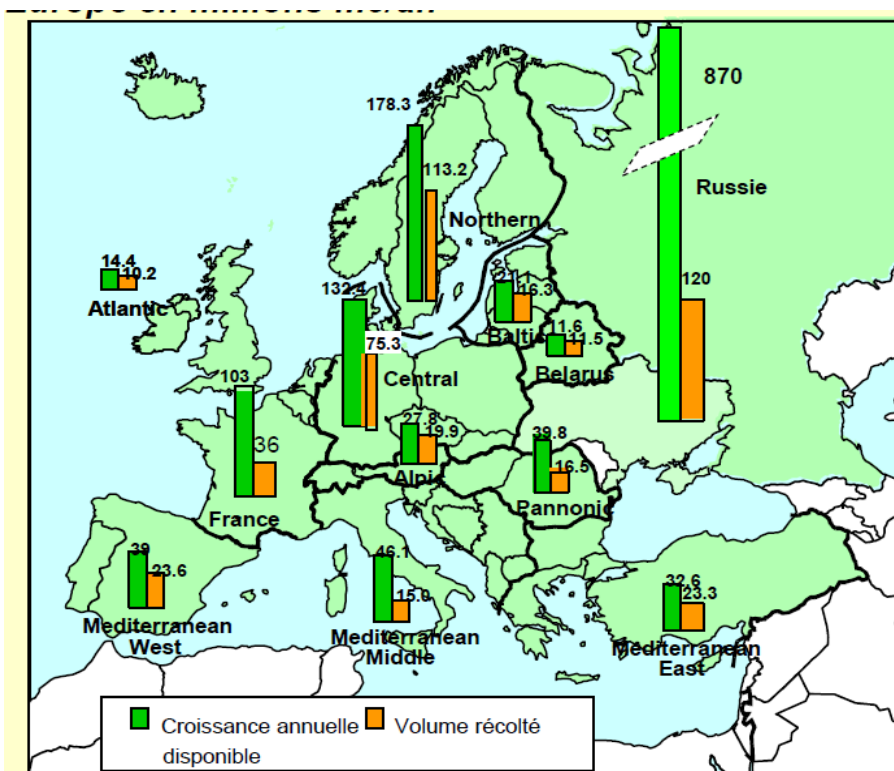
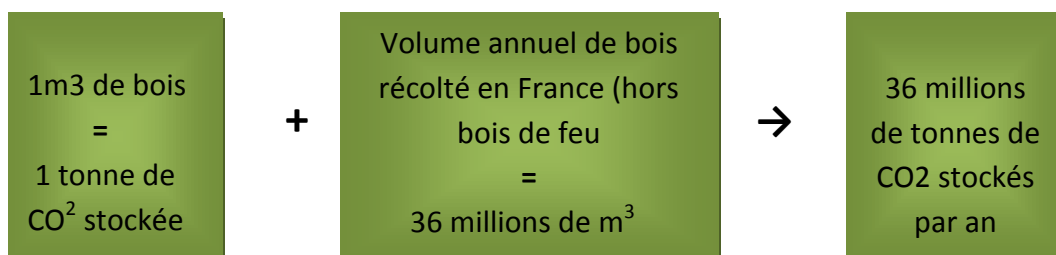


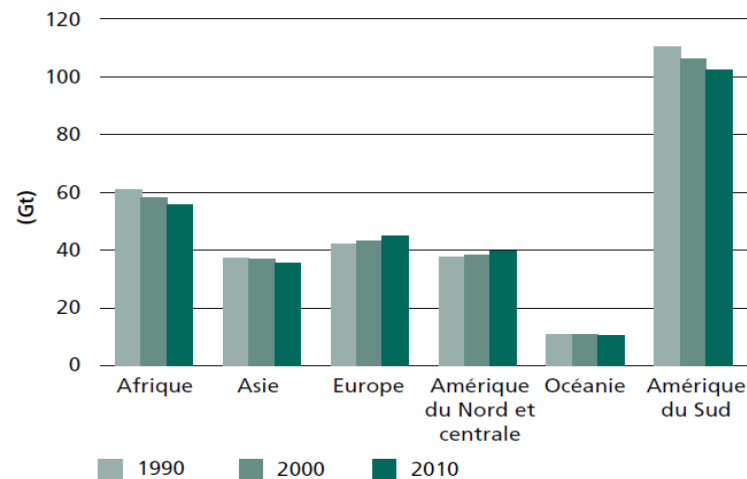
Figure 2.6.1.2a: Croissance et exportation annuelle dans les grands massifs en Europe en million m<sup>3</sup>/an

Comme le montre le graphique ci-dessus la France a un grand potentiel forestier pas assez valorisé, l'augmentation sur le territoire national du volume de bois récolté et commercialisé reste un atout majeur dans la lutte contre les gaz à effet de serre et notamment le CO<sub>2</sub>



Le graphique ci-dessous montre les tendances des stocks de carbone dans la biomasse forestière en gigatonnes « Gt », 1990-2010

**NTOLLA François**  
**Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment**



*Figure 2.6.1.2b: Stock de carbone en gigatonnes des forêts mondiales*

Les chantiers de construction bois ont un faible impact sur la nature environnante car ils sont sans nuisances (sonores, olfactives), et le taux de déchets est très faible avec un taux de recyclage très élevé. La préfabrication permet optimisée les volumes et favorise le recyclage pour la plupart des déchets.

Enfin, la contribution de la forêt et du bois à la régulation de l'effet de serre n'est plus à démontrer. Si le dioxyde de carbone représente à lui seul plus de la moitié des gaz à effet de serre, les conséquences liées à des choix de matériaux dans la construction prennent rapidement de l'importance, les dysfonctionnements climatiques récents en son l'illustration.

Ci-dessous, le tableau indiquant les effets sur les dysfonctionnements climatiques, et des choix qui peuvent être faits en termes de matériaux de structure.

Matériaux	Poids pour 1 m3 (kg)	Process de fabrication et de mise en œuvre	
		Dégagement de CO <sub>2</sub> (kg)	Fixation de CO <sub>2</sub> (kg)
Bois feuillus	700	Prise en compte des process industriels =200	1000
Béton	2500	375	0
Production de ciment	1600	2500	0
Acier	7200	5000	0

*Tableau 2.6.1.2b: Effet environnemental des matériaux de construction*



Ci-dessous les coûts énergétiques comparés de quelques matériaux de construction.

Matériaux	Energie consommée pour produire 1 m <sup>3</sup> (kWh/m <sup>3</sup> )	Rapport au matériau bois
Bois scié	350	1
Béton	750	2
Ciment	1750	5
PVC	24 700	71
Acier	46 000	131
Aluminium	141 500	404

*Tableau 2.6.1.2c: comparaison des besoins énergétiques de quelques matériaux de construction*

### 2.7.1.3 D'un point de vue durabilité et flexibilité

Le bois est un matériau durable, flexible et résistant quand il est utilisé dans de bonnes conditions. Ses qualités structurelles ne sont plus à prouver, comme le témoignent les centres historiques de certaines grandes villes où l'on admire encore les constructions en colombages du XII<sup>e</sup> siècle.

En effet, les règles de l'art définissent la stabilité, la durabilité des bois de construction et les conditions de mise en œuvre sont décrites dans des ouvrages de normalisation (Eurocode 5). Elles permettent de choisir et de contrôler tous les caractéristiques physiques et mécaniques du bois, lors de la fabrication, de la mise en œuvre et pendant la durée de vie de l'ouvrage. Elles garantissent aussi la préservation du matériau par des traitements certifiés et permettent ainsi de se protéger définitivement contre les insectes xylophages et les champignons.

Avec l'application de l'Eurocode 5, les règles de calcul et de dimensionnement des structures bois ont été unifiées dans toute l'Europe. Elles fixent les classes de résistances mécaniques et les propriétés physiques du bois selon les essences. Elles permettent aux concepteurs de maximiser le rendement et la durée de vie de chaque matériau de construction. Car un ouvrage de maçonnerie ou de béton mal conçu « ne respectant pas les règles de calcul des structures » peut éclater ou se fissurer, l'acier peut rouiller et le bois peut pourrir, ce qui compromet dans chaque cas l'ensemble du bâtiment et réduit son espérance de vie.

Or, nous savons que s'ils sont utilisés de façon adéquate, tous ces matériaux bois et autres sont, de façon inhérente, durable et ont le potentiel de durer plusieurs décennies, et même des siècles. Parmi les plus anciens bâtiments en bois existant, on compte des temples Japonais du 8<sup>e</sup> siècle, des églises à douves Norvégiennes du 11<sup>e</sup> siècle etc. Ces bâtiments résistent en partie en raison de leur importance culturelle, mais aussi parce qu'ils ont été conçus et entretenus de façon appropriée.

En ossature porteuse, pour maximiser la durée de vie du bâtiment, tous les éléments en bois utilisés devaient faire preuve de stabilité dimensionnelle (bois séché ou d'ingénierie). Tous

les éléments en bois devaient être protégés contre les intempéries « l'eau et le soleil avec, en corollaire, les champignons et les insectes » pour assurer la durabilité.

De plus les revêtements de façades du projet, sont posés comme « double peau », si bien que leur dégradation éventuelle n'atteindrait pas la structure porteuse dont il sont séparés par un vide d'air et par un écran pare-pluie.

Rappelons-le, un bois sec est éternel. Une réalisation soignée, sans aucun risque de rétention d'eau, améliorera la vie de la structure et l'épargnera bien des problèmes d'humidité. Si l'atmosphère intérieure est saine et sèche, avec une humidité inférieure à 20% et bien ventilée, il y a peu de chance pour que les champignons se développent ou que les insectes attaquent.

Concevoir un édifice pour qu'il soit flexible et adaptable est également essentiel pour qu'on en obtienne la plus grande valeur possible compte tenu de l'énergie intrinsèque nette des matériaux de construction. En raison du faible poids et de la maniabilité du matériau qui les compose, les structures en bois s'adaptent très facilement à de nouvelles utilisations. La redondance inhérente aux structures légères à ossature de bois offre plusieurs possibilités d'adaptation, alors que les structures à poteaux et à poutres permettent de reconfigurer complètement les cloisons non porteuses.

De plus, le bois se prête bien au démantèlement. Un bâtiment doté d'une structure à poteaux et à poutres permet l'aménagement rapide de cloisons non porteuses et démontables qui permettent une récupération complète de la structure à la fin de sa vie utile. Contrairement à d'autres matériaux, le bois récupéré peut souvent être réutilisé aux fins pour lesquelles il a été conçu (par ex., comme élément de structure), compte tenu d'une perte de valeur faible ou nulle.

## 2.7.2. Cohérence sur plan économique et culturelle

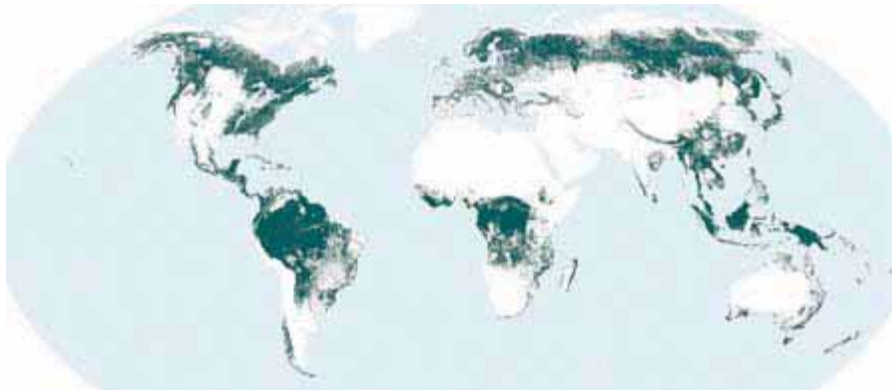
### 2.7.2.1 Sur le plan mondial

Les forêts du monde suscitent aujourd'hui un intérêt sans précédent, en particulier du fait de la prise de conscience croissante de leur rôle dans le cycle mondial du carbone. La possibilité d'atténuer les effets des changements climatiques en réduisant les émissions de carbone dues au déboisement et à la dégradation des forêts et en augmentant l'absorption de carbone à travers le boisement et la gestion durable des forêts met en relief le rôle essentiel qu'elles jouent dans le maintien de la vie sur Terre.

Dans un contexte de crise économique, nous nous rappelons également que les forêts fournissent des emplois et des moyens d'existence à une grande partie de la population – en particulier dans les pays en développement – et qu'elles jouent souvent le rôle d'un filet de sécurité en de crise.

Les forêts occupent 31 pour cent de la superficie totale des terres. La superficie forestière totale représente un peu plus de 4 milliards d'hectares, ce qui correspond à une moyenne de 0,6 hectare par habitant (figure 2.6.2.1a). Plus de la moitié de cette superficie se trouve dans

les cinq pays les mieux dotés en forêts (Fédération de Russie, Brésil, Canada, Etats-Unis d'Amérique et Chine).



*Figure 2.6.2.1a: En vert les forêts du monde – en jaune les déserts*

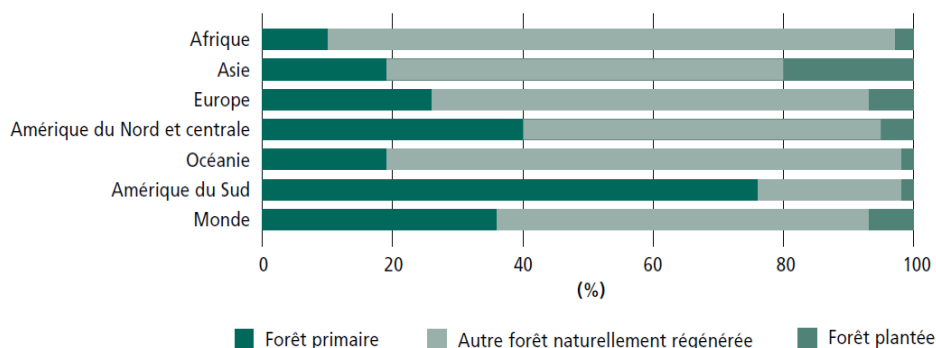
Dans le contexte mondial, voici quelques chiffres concernant les forêts et ressources forestières dans le monde :

- 4 milliards d'ha mais seulement 800 millions de forêt de production
- Récolte 3,3 milliards de tonnes de bois:
- Matériau: 47% (construction, meubles, papiers),
- Bois de feu, charbon de bois : 53%

Plus de 60% du bois est coupé dans les pays en voie de développement (80% part en fumée et seulement 20% est utilisé comme bois-matériau).

Dans les pays de l'UE, le rapport est inversé: 85 % du bois récolté est utilisé comme matériau.

Les forêts primaires représentent 36% de la superficie forestière mais ont diminué de plus de 40 millions d'hectares depuis 2000. A l'échelle mondiale, plus d'un tiers de tous les forêts sont classifiées comme forêts primaires (voir graphique 2.6.2.1b).



*Figure 2.6.2.1b: Caractéristiques des forêts du monde*

Plus de 1,6 milliard d'hectares de forêts font l'objet d'un plan d'aménagement. Ci-dessous le graphique montrant la tendance de la superficie forestière faisant l'objet d'un plan d'aménagement.

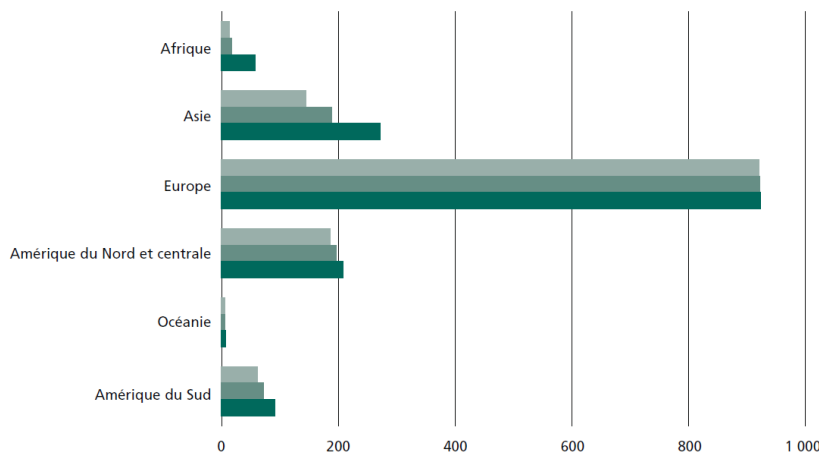


Figure 2.6.2.1c: Tendances de la superficie forestière faisant l'objet d'un plan d'aménagement

Le commerce du bois a une importance économique majeure :

- Exportations mondiales font « 140 milliards de dollars », pour 290 millions de tonnes de bois et moins de 20 % de la production mondiale de bois-matériau.
- 80% du matériau bois est consommé dans son pays d'origine.
- Les forêts du Nord exportent quatre fois plus que les forêts du Sud (80% du bois matériau exporté dans le monde).
- Les bois tropicaux représentent seulement 17% des grumes de bois échangées dans le monde (résineux 30% et feuillus 53 %).

### 2.7.2.2 Sur le plan national

Les  $\frac{3}{4}$  de la récolte des bois européens sont fournis par quatre pays de union européenne ainsi que la Russie, il s'agit de : l'Allemagne, la Suède, la Finlande et la France, (voir figure 2.6.2.1c). La France avec 103 million de croissance annuelle disponible et 36 millions de m<sup>3</sup> de récolte, se classe parmi les grands pays forestiers européens.

La France a un grand potentiel forestier mais pas assez valorisé :

1<sup>er</sup> pays européen en stock de bois sur pied

3<sup>e</sup> pays européen pour la surface forestière (après la Suède et la Finlande)

4<sup>e</sup> pays européen pour la production de grumes (après la Suède, l'Allemagne et la Finlande)  
10<sup>ème</sup> mondial mais 1<sup>er</sup> producteur européen de grumes de feuillus

5<sup>e</sup> pays européen pour la production de sciages (doublée par l'Autriche) mais 1<sup>er</sup> producteur européen de sciages feuillus.

Ci-dessous la synthèse des différentes fonctions pour la forêt Française

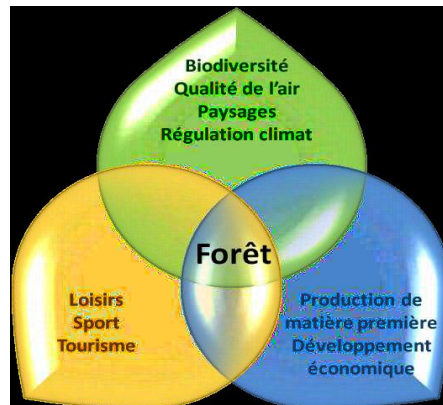


Figure 2.6.2.2a: Différentes fonctions pour la forêt Française

Toutefois, il faut souligner que ces différentes fonctions ne sont pas forcément exercées par l'ensemble des forêts françaises. Toutes ne sont pas exploitées, toutes ne sont pas accessibles au grand public et leur contribution à la biodiversité est variable.

### 2.7.2.3 L'avenir de la filière bois s'éclaircit

Les produits en bois sont dans l'air du temps. Le succès des maisons en bois, le retour en grâce du parquet et le développement du bois-énergie sont là pour en témoigner. Des scieries aux fabricants de fenêtres ou d'emballages, tous surfent sur la sensibilité croissante des ménages à la cause environnementale et aux économies d'énergie. Isolant et renouvelable, le bois dispose en effet d'atouts indéniables pour séduire des consommateurs de plus en plus éco-responsables. Les pouvoirs publics ont également misé sur la filière en multipliant les mesures de soutien : durcissement de la réglementation thermique des bâtiments, objectifs ambitieux de l'Accord Cadre Bois Construction Environnement, création du Fonds Bois. Mais ce contexte, a priori idyllique, sera-t-il suffisant pour affronter le risque de récession de notre économie et la concurrence toujours plus forte des produits importés ?

Car près de 40% des importations Française de bois restent d'origine illégale, issus principalement d'Afrique centrale (Cameroun...), du Brésil ou d'Asie du Sud-est, ces bois durs et résistants, aux teintes chaudes, sont très prisés, de nombreuses essences sont déjà menacées de disparition dans le monde, si l'on veut participer au respect de l'environnement, participons à la protection des forêts en achetant plutôt des essences locales ou européennes dures, pour la construction de nos habitations à ossature bois, comme le chêne, le douglas, l'acacia, le châtaignier, le mélèze ou le robinier.

#### 2.7.2.4 La compétitivité française en question

Malgré les nombreux atouts de la forêt française (abondance de la ressource, diversité et qualité des essences), la filière du bois souffre d'un déficit flagrant de compétitivité. Certains secteurs sont surtout composés de petites entreprises artisanales ou de PME à capitaux familiaux, notamment dans le sciage et les charpentes. Ces entreprises ne sont pas forcément moins rentables jusqu'à présent, mais elles risquent d'avoir des difficultés à faire face à l'évolution des marchés. Leur taille réduite, leur mode de gestion, voire leur faible rayon, constituent des obstacles pour financer les investissements. Le marché français du sciage est par exemple très déséquilibré en raison d'une sous-capacité de l'offre et d'un manque de valorisation de ses produits (séchage, rabotage, aboutage, lamellation, etc.).

Un retard dans l'industrialisation de la filière qui a largement favorisé la pénétration des importations et qui impose aujourd'hui à de nombreux opérateurs d'atteindre une taille critique.

Les marchés tendent en effet à se mondialiser et les industriels français se doivent de répondre à la compétition livrée par l'Allemagne, la Pologne ou la Chine. Les importations de panneaux de bois ont par exemple bondi de plus de 40% entre 2002 et 2012 et couvrent désormais près de la moitié de la demande française.

#### 2.7.2.5 Encore des obstacles à surmonter

Anticipant les mutations susceptibles d'impacter les positions et les stratégies des opérateurs basés en France, les experts en bois ont identifié trois autres défis clés pour la filière :

- **faire face à la dégradation de la conjoncture.** Les débouchés de la filière bois, construction et ameublement en tête, n'offriront que peu de perspectives de croissance en 2013 dans un contexte de ralentissement global de l'économie ;
- **affronter la menace des substituts.** Les spécialistes du bois doivent composer avec la concurrence croissante d'autres matériaux : PVC et aluminium dans les menuiseries, plastique pour les palettes et les caisses, copeaux de boisage œnologique dans la tonnellerie ;
- **sécuriser les approvisionnements.** Le développement du bois-énergie et la sous-utilisation des ressources forestières françaises, particulièrement en bois feuillus\*, entraînent des tensions sur l'approvisionnement des industries utilisatrices. Cela a pour conséquence de renchérir les prix du bois, d'allonger les circuits d'approvisionnements et de risquer des arrêts temporaires des chaînes de production.

### 2.7.2.6 Trois mots d'ordre pour les leaders Français du bois

#### « Industrialisation, innovation et diversification »

Pour regagner des parts de marché et se repositionner davantage en phase avec les besoins des secteurs utilisateurs, les industriels français du bois affinent leurs stratégies autour de trois axes :

- **l'augmentation de l'échelle de production.** Les industriels doivent régulièrement investir dans leur outil de production pour s'équiper de machines moins énergivores, à cadences de production plus élevées, etc.
- **l'innovation et la sophistication des produits.** Faute désormais de pouvoir se différencier par les coûts, les industriels répondent à la concurrence étrangère en misant sur la qualité des produits, les services et l'innovation. Il s'agit entre autres de concevoir des produits plus techniques comme les sciages séchés, les bois massifs reconstitués ou les bois composites.
- **la diversification des activités.** Nombreuses sont les scieries à se tourner vers le bois-énergie et la production de granulés pour trouver des relais de croissance. D'autres acteurs s'orientent vers la fabrication de parquets ou d'éléments structuraux pour les maisons à ossature bois.

A la demande du Ministère, le FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement) a réalisé en 2010 une étude sur les perspectives de valorisation de la ressource de bois d'œuvre feuillus en France. Cette étude montre une forte diminution de la récolte de bois d'œuvre feuillus et donc de la production de sciage.

L'estimation des marchés Français actuels des bois de feuillus pour la construction, l'agencement et les menuiseries et leurs perspectives est de :

- Charpente : 150 000 m<sup>3</sup> ⇨
- Parquets : 110 000 m<sup>3</sup> ⇨
- escaliers : 50 000 m<sup>3</sup> ⇨
- menuiseries : 40 000 m<sup>3</sup> ↗
- bardages : 20 000 m<sup>3</sup> ↗
- platelages : 10 000 m<sup>3</sup> ↗

Malgré le recul de certains secteurs, le secteur de la construction bois porte la croissance dans le travail du bois. Son dynamisme profite notamment aux industries de panneaux, de bardages, de platelages et de charpentes.

Les graphiques ci-dessous résument les valeurs des productions Française en importation et exportation pour les produits de bois de construction par rapport aux leaders Européens.

## NTOLLA François Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment

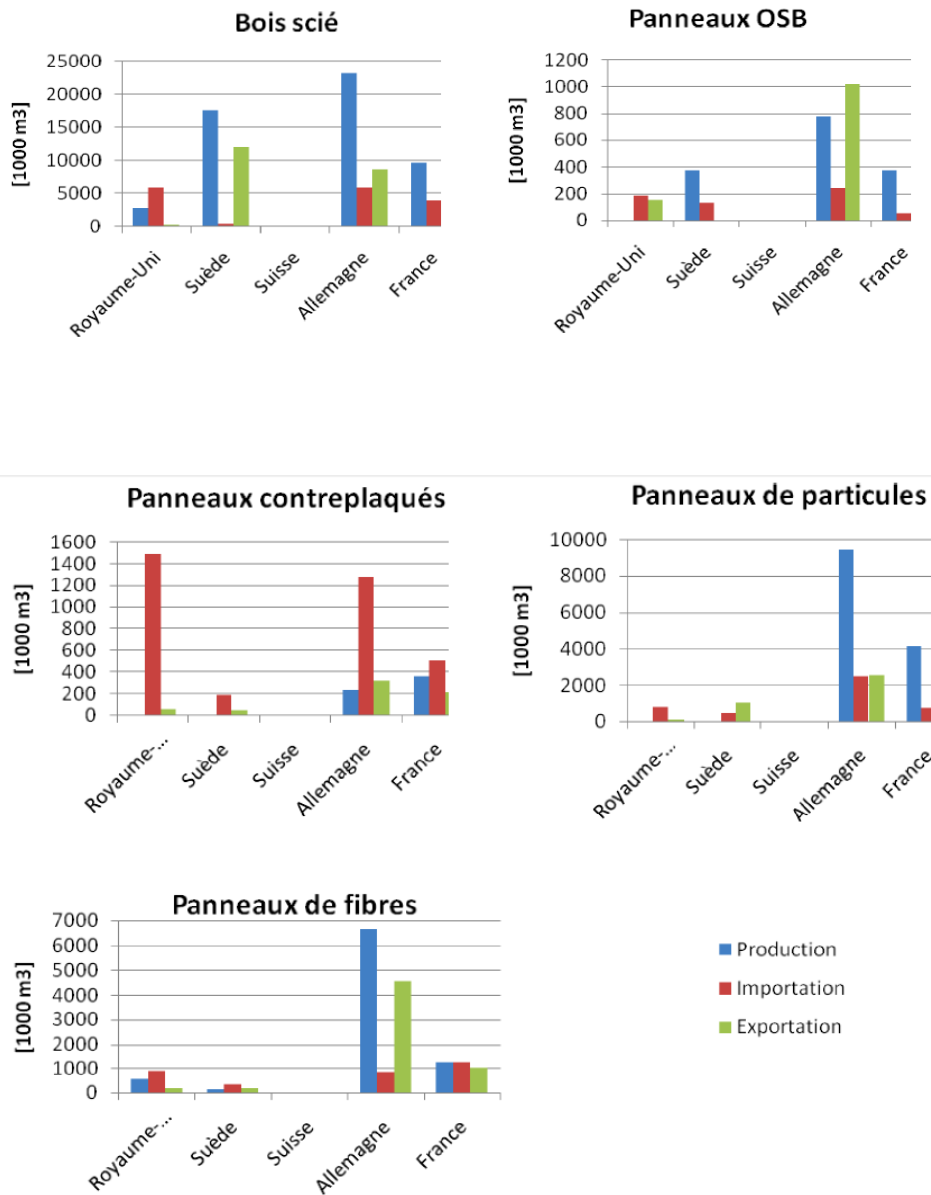


Figure 2.6.2.6: Production des importations et exportations de bois d'œuvre et panneaux bois en Europe



## 2.8. COMPORTEMENTS FACE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES ET TECHNIQUES

### 2.8.1. Les exigences réglementaires du projet

Les exigences règlementaires développées, ci-dessous, relève de données règlementaire établies par le bureau d'études thermique et acoustique en charge dossier. Ces données règlementaires ne constituent pas une étude exhaustive de ces exigences, mais présentent les données caractéristiques de l'opération pouvant impacter la réalisation de la structure du bâtiment. Concernant les surcharges climatiques, le projet est classé :

- Séismicité Zone se séismicité nulle
- Vent
  - Zone 2 – site normal
  - Pression dynamique de base normale 60 daN/m<sup>2</sup>
- Neige
  - Région 1A
  - Altitude inférieur à 200m
  - Charges normales 35 daN/m<sup>2</sup>
  - Charges extrême 60 daN/m<sup>2</sup>
  - Charges accidentelle 80 daN/m<sup>2</sup>
- Vitrage
  - Zone B
  - Situation a

Concernant l'isolation acoustique, les exigences règlementaires pour ce type de bâtiment révèlent du référentiel NRA (Nouvelle Réglementation Acoustique) arrêté du 30 juin 1999 relatif à la réglementation acoustique applicable aux bâtiments d'habitation.

Les principales performances attendues sont les suivantes :

#### - Isolement verticale aux bruits aériens

ISOLEMENT Emission / Réception	EXIGENCES NRA	DISPOSITIONS PREVUES
Logement / Pièces principales	DnT, A ≥ 53 dB	Epaisseur 20 minimum + chape isophonique de 6cm
Logement / Pièces humides	DnT, A ≥ 50 dB	Epaisseur 20 minimum + chape isophonique de 6cm
Circulations communes / Pièces principales	DnT, A ≥ 53 dB	Epaisseur 20 minimum+ chape isophonique de 6cm
Circulations communes / Pièces humides	DnT, A ≥ 50 dB	Epaisseur 20 minimum+ chape isophonique de 6cm

#### - Performance vis-à-vis du bruit d'impact

ISOLEMENT Emission / Réception	EXIGENCES NRA	DISPOSITIONS PREVUES
Dépendances (1) (y compris parking) / Pièces principales	L'nT, W ≤ 58 dB	
Circulations communes (2) / Logements	L'nT, W ≤ 58 dB	Dalle de 20 cm+ chape isophonique de 6 cm
Locaux d'activités / Pièces principales	L'nT, W ≤ 58 dB	

(1) Sauf combles non aménagés.

(2) Sauf escaliers collectifs dans le cas où un ascenseur dessert le bâtiment.

- **Isolement horizontal aux bruits aériens**

ISOLEMENT Emission / Réception	EXIGENCES NRA	OBSERVATIONS
Logement / Pièces principales	DnT, A ≥ 53 dB	
Logement / Pièces humides	DnT, A ≥ 50 dB	
Circulations communes Via porte palière/Pièces principales	DnT, A ≥ 40 dB	- Si entrée directe sur pièce principale, il y aura lieu de prévoir une porte avec R ≥ 38 dB(A). Avec joint périmétrique. - Si SAS avant d'accéder aux pièces principales il y aura lieu de prévoir une porte de R ≥ 28 dB(A) avec joint périmétrique.
Circulations communes Via porte palière / Pièces humides	DnT, A ≥ 37 dB	- Si entrée directe sur pièce principale, il y aura lieu de prévoir une porte avec R ≥ 38 dB(A). Avec joint périmétrique. - Si SAS avant d'accéder aux pièces principales il y aura lieu de prévoir une porte de R ≥ 28 dB(A) avec joint périmétrique.

Concernant les isolements de façades aux bruits aériens, la réglementation prévoit une exigence acoustique de 35 db(A) minimum. Dans les hypothèses de calculs, la classe d'exposition au bruit choisit par le bureau d'études est : BR3 « elle correspond à l'obligation d'un renforcement de l'isolement acoustique au delà des 30 dB, de la réglementation acoustique, la classe la plus défavorable de l'exposition au bruit d'une infrastructure.

Suivant l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transport terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit et la caractérisation du classement au bruit BR selon la RT2005

Concernant l'isolation thermique, le projet est soumis aux exigences de la réglementation thermique 2005 (RT2005), relative à l'arrêté du 24 mai 2006, qui définit les exigences relatives aux surfaces des parois verticales opaques et parois horizontales en contact avec l'extérieur.

Les déperditions thermiques d'un bâtiment par transmission à travers les parois et les baies sont caractérisées par le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment, appelé  $U_{bât}$ , exprimé en  $W/(m^2.K)$ , et déterminé dans la méthode de calcul Th-C-E,

Le coefficient  $U_{bât}$  de chaque paroi verticale et horizontale a pour but de fixer la valeur à respecter par chaque complexe vertical et horizontal constituant les parois porteuses.

- Pour les parois verticales opaques
  - La résistance moyenne  $R = \frac{e}{\lambda} = 6.860 \text{ m}^2.K/W$
  - Le coefficient moyen  $U = \frac{1}{R} = 0.146 \text{ W}/M^2.K$
  
- Pour les parois horizontales
  - La résistance moyenne  $R = \frac{e}{\lambda} = 9.186 \text{ m}^2.K/W$
  - Le coefficient moyen  $U = \frac{1}{R} = 0.11 \text{ W}/M^2.K$

### 2.8.2. Les exigences sur le plan acoustique

Les bruits sont transmis par l'air et/ou par la structure même du bâtiment. L'isolation acoustique est étudiée et mise en œuvre en fonction des principales sources de bruit et des parois concernées.

Un renforcement de l'isolation acoustique se concrétise en appliquant deux principes à savoir :

➤ La loi de masse :

Repose sur le principe plus la masse de la paroi est lourde, plus elle est isolante,

➤ La loi masse-ressort-masse :

Qui consiste à utiliser les caractéristiques des matériaux d'une paroi composite, à savoir, deux parois (masses) sont séparées par un ressort (lame d'air remplie par un isolant souple) qui absorbe et disperse l'énergie sonore.

Etant donné la faible densité des bois (résineux de 0.35 à 0.45 t/m<sup>3</sup>, feuillus 0.65 t/m<sup>3</sup>, matériaux composite 2.0 t/m<sup>3</sup>), les filières sèches, en particulier la construction en bois s'appuient en général sur le principe masse-ressort-masse.

De l'importance de ces masses et de l'efficacité de ce ressort dépendent les performances acoustiques de la paroi.

Pour limiter ces propagations de bruits, il est nécessaire de mettre en œuvre une isolation acoustique, il existe trois grandes valeurs à optimiser lorsque l'on parle d'isolation acoustique dans le bâtiment à savoir :

- L'isolation acoustique vis-à-vis des bruits aériens extérieur (avion, gare, voiture, usines, chantiers ...), intérieurs (télé, chaîne hi-fi, radio, une conversation...) pour but d'affaiblir leur transmission entre l'extérieur et l'intérieur et de restreindre leur propagation d'une pièce à une autre.
- L'isolation acoustique vis-à-vis des bruits solidiens (aux bruits de chocs) vise à atténuer le rayonnement des bruits de choc dans les structures.
- la correction acoustique, elle a pour but de maîtriser la propagation sonore et le temps de réverbération à l'intérieur d'une pièce, notamment par la pose de matériaux absorbants en paroi.

Il faut particulièrement faire attention aux "ponts phoniques", endroits où l'isolation est interrompue ou affaiblie, car les bruits véhiculés par l'air se fauillent par le moindre interstice. Pour les éviter, l'isolation doit être posée en continu, sans rupture.

Il existe une multitude de matériaux ab

Depuis le 1er janvier 2000, des indices uniques, établis par deux normes européennes, sont utilisés pour évaluer la performance acoustique à la fois des produits et ouvrages (mesures en laboratoire) et des bâtiments (mesures in situ).

Ci-dessous quelques éléments d'explication des niveaux de la nouvelle réglementation acoustique (NRA) ainsi que les mesures et les sigles utilisés, suivant l'ancienne et la nouvelle terminologie.

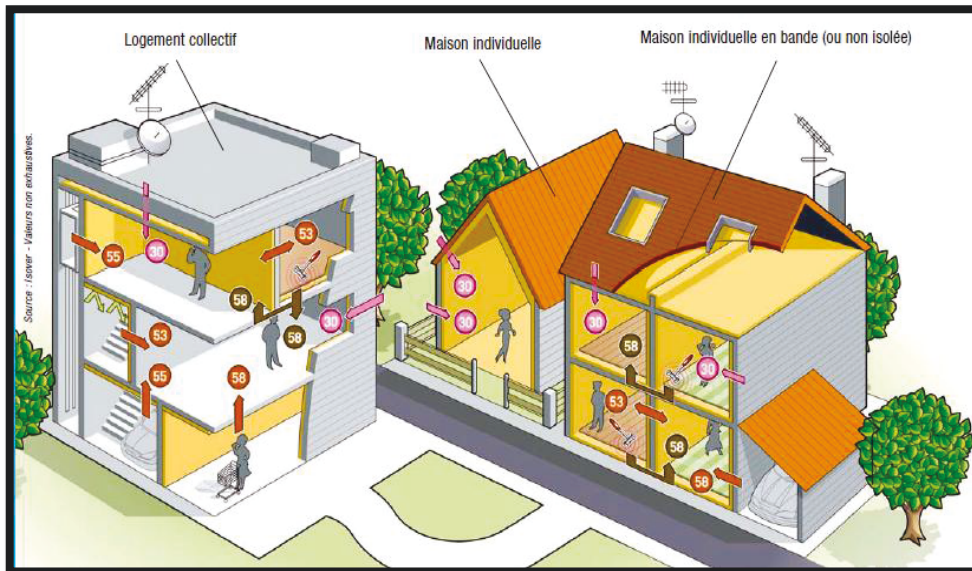


Figure : 2.8.2a. Les exigences minimales au 1<sup>er</sup> janvier 2000 en matière d'isolation

Dans le cas de notre projet support mémoire, étant donné la destination du projet « maisons individuelles en bande », les contraintes ici en matière acoustique restent l'isolement aux bruits aériens (extérieurs et intérieurs) et aux bruits de chocs.

BRUITS AERIENS VERTICAL					
NOM	LOCALISATION	MESURES EN LABORATOIRE		MESURES IN SITU	
		Indice d'affaiblissement acoustique en dB	Valeurs réglementaires du projet en dB	Isolement acoustique standardisé en dB	Valeurs réglementaires du projet en dB
Bruits intérieurs	Logement / Pièces principales	Rw+C	≥ 58	DnT, w+C	53
Bruits intérieurs	Logement / Pièces humides	Rw+C	≥ 55	DnT, w+C	50
Bruits intérieurs	Circulations communes / Pièces principales	Rw+C	≥ 58	DnT, w+C	53
Bruits intérieurs	Circulations communes / Pièces humides	Rw+C	≥ 55	DnT, w+C	50
Bruits extérieurs	Façades/logements	Rw+Ctr	≥ 35	DnT, w+Ctr	30

Tableau : 2.8.2b. Indice de classement acoustiques et exigence réglementaire du projet aux bruits aériens

Les indices des bruits aériens :

- **C** : représente les bruits environnants (ou "bruits roses" suivant l'ancienne terminologie)
- **Ctr** : représente les bruits du trafic routier environnant (ou "bruits route" suivant l'ancienne terminologie).

Indices mesurés en laboratoire

- **Rw** : est l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré ; il caractérise l'isolement d'un matériau ou d'un

**NTOLLA François**  
**Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment**

système constructif et correspond à la performance acoustique d'un produit mesuré en laboratoire en l'absence de transmission latérale. Cet indice s'exprime en dB sous la forme :

- **Rw + C** : Indice d'affaissement acoustique aux bruits aériens intérieurs
- **Rw + Ctr** : Indice d'affaissement acoustique aux bruits aériens extérieurs

Plus ces trois indices sont élevés, meilleure est la performance d'isolation.

Indices mesurés in situ

- **DnT,w** : est l'indice d'isolement acoustique standardisé pondéré aux bruits aériens. Mesuré in situ il intègre, outre les transmissions directes, les transmissions latérales. Cet indice s'exprime en dB sous la forme : **DnT,w (C ; Ctr)**
- **DnT,A** : est l'indice d'isolement aux bruits aériens entre locaux séparés intérieurs.
- **DnT,A,tr** : est l'indice d'isolement aux bruits aériens extérieurs.

Plus ces trois indices sont élevés, meilleure est la performance d'isolation.

Le choix d'une solution doit tenir compte de la performance visée in situ. Or l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré (Rw + C mesuré en laboratoire) de la paroi séparative ne prend pas du tout en compte les transmissions latérales et la mise en oeuvre. Pour obtenir le niveau de performance exigé, il est nécessaire de prévoir, lors du choix d'une solution d'isolation, une performance supérieure au minimum à 5 dB aux résultats d'essais.

Attention : l'écart entre les valeurs in situ et laboratoire peut varier en fonction de la configuration, de la nature et de la mise en oeuvre de l'ouvrage. Par conséquent afin d'en tenir compte, il est indispensable de majorer la valeur Rw tel que :

$$\boxed{Rw + C + 5 \text{ dB} \approx DnT,A}$$

BRUITS DE CHOCS				
		MESURES EN LABORATOIRE	MESURES IN SITU	
NOM	LOCALISATION	Réduction du niveau de bruit de chocs en dB	Isolement acoustique standardisé	Valeurs réglementaires du projet en dB
Bruits intérieurs	Dépendances / Pièces principales / chambre/chambre	$\Delta Lw$	L'nT, W	$\leq 58$
Bruits intérieurs	Circulations communes / Logements	$\Delta Lw$	L'nT, W	$\leq 58$
Bruits intérieurs	Locaux d'activités / Pièces principales	$\Delta Lw$	L'nT, W	$\leq 58$

Tableau : 2.8.2c. *Indice de classement acoustiques et exigence réglementaire du projet aux bruits de chocs*

- **L'nT,w** : est le niveau de bruit reçu aux bruits de choc et mesuré in situ. Il prend en compte les transmissions latérales. Plus il est faible, meilleur est l'isolement du local vis-à-vis des bruits de choc.
- **Ln,w** : est le niveau de bruit de choc qui représente le niveau de pression acoustique mesuré sous un plancher qui est soumis aux sollicitations d'une machine à choc normalisée. Plus le niveau est faible, meilleur est l'isolement.
- **$\Delta Lw$**  : est l'indice de mesure en laboratoire du système isolant. Il caractérise les performances du produit, sa capacité à diminuer le niveau de bruit de choc. Plus il est élevé, meilleure est la performance du produit.
- **T<sub>l</sub>** : est la transmission latérale liée au bâti ou in situ.

La performance acoustique d'un système d'isolant se décompose de la manière suivante :

$$\boxed{L'nT,w = Ln,w - \Delta Lw + TL}$$

Cependant La transmission latérale  $T_L$  liée au bâti est un élément difficilement appréciable. Car elle dépend du bâti et de la mise en œuvre. Une marge est à prévoir afin d'arriver au niveau de bruit reçu réglementaire. Cette marge peut varier en fonction de la configuration, de la nature et de la mise en œuvre de l'ouvrage.

Dans le cas de la construction bois, la difficulté réside dans le choix d'un mode constructif à la fois isolement acoustique et limitation des transmissions des bruits de chocs.

### 2.8.3. Les solutions constructives bois pour respecter :

#### 2.8.3.1 Les exigences d'isolement aux bruits aériens

- La clef du système : la fréquence de résonance

La fréquence de résonance est la fréquence à laquelle la paroi entre en vibration. Dans ce cas, la transmission d'énergie acoustique est maximale et la performance de la paroi est la moins bonne. Comme tout système résonant, cette fréquence dépend de la masse des parois (rôle masse), de l'épaisseur de la lame d'air entre les deux parements (rôle ressort), de la nature et de l'épaisseur de l'isolant (rôle amortisseur). En augmentant la masse et/ou l'épaisseur de ces éléments, on gagne en isolement acoustique.

Une meilleure performance acoustique d'une paroi se caractérise par son indice d'affaiblissement élevé. Cet indice d'affaiblissement, mesuré d'après la norme NF EN ISO 140-3, caractérise la performance en transmission directe d'une paroi.

Quelques sont à prendre pour minimiser **la transmission directe**, le maître d'ouvrage peut améliorer les performances acoustiques des parois en renforçant le ressort :

Une ossature bois dédoublée est plus efficace qu'une ossature bois simple relativement rigide, les deux ossatures devant être désolidarisées.

**Les transmissions latérales** représentent, dans les systèmes constructifs à ossatures, le facteur prépondérant de la transmission du bruit. Des précautions doivent être envisagées dès la conception technique et être réalisées avec soin lors de la mise en œuvre.

Pour éviter de créer **des ponts phoniques**, les fluides ne doivent pas être regroupés en un seul endroit et les interruptions doivent être soigneusement calfeutrées au moyen de rubans adhésifs appropriés ou de manchons adaptés autocollants.

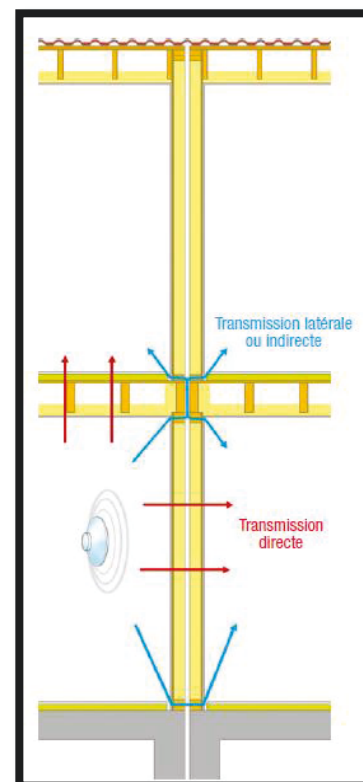


Figure : 2.8.3.1a. : Schéma de principe des transmissions directes et latérales/indirectes du bruit aérien

Comme vue dans les phrases précédentes les parois verticales jouent essentiellement un rôle d'isolement acoustique aux bruits aériens (extérieurs et intérieurs).

Ci-dessous les différentes solutions des parois verticales bois et leurs caractéristiques acoustiques.

**Solution type 1 : Ossature bois façade**

**Mur extérieur type MBOC<sup>®</sup>**

- 1) Bardage 22 mm
- 2) Lattage 22 mm
- 3) Pare-pluie
- 4) Contreventement, type OSB 9 mm
- 5) Ossature bois 45 x 120 mm
- 6) Laine minérale 120 mm
- 7) Pare-vapeur
- 8) Profil métallique
- 9) Plaque de plâtre 13 mm

$R_w (C ; C_{tr}) = 50 (-2 ; -6)$  dB  
 $R_A = 48$  dB  
 $R_{A,tr} = 44$  dB

Source : estimation CIBA

**Solution type 2 : Ossature bois façade**

**Mur MBOC<sup>®</sup> à isolation extérieure renforcée**

- 1) Bardage 22 mm
- 2) Lattage 22 mm
- 3) Isolant de fibres de bois hydrofuge 35 mm
- 4) Contreventement, type OSB 9 mm
- 5) Ossature bois 45 x 120 mm
- 6) Laine minérale 120 mm
- 7) Pare-vapeur
- 8) Profil métallique
- 9) Plaque de plâtre 13 mm

$R_w (C ; C_{tr}) = 58 (-2 ; -8)$  dB  
 $R_A = 56$  dB  
 $R_{A,tr} = 50$  dB

Source : valeur calculée avec un logiciel spécialisé en acoustique

**Solution type 3 : Mur mitoyen porteur en ossature bois**

**Mur mitoyen porteur en ossature bois**

- 1) Plaque de plâtre 13 mm
- 2) Profil métallique
- 3) Pare-vapeur
- 4) Contreventement, type OSB 9 mm
- 5) Ossature bois décalée 45 x 95 mm
- 6) Laine minérale 100 mm
- 7) Lame d'air 20 mm

$R_w (C ; C_{tr}) = 64 (-3 ; -7)$  dB  
 $R_A = 61$  dB  
 $R_{A,tr} = 57$  dB

Source : estimation CIBA

**Solution type 4 : Panneau bois massif contrecollé façade**

**Mur extérieur en bois massif contrecollé**

- 1) Bardage 25 mm
- 2) Lattage 28 mm
- 3) Panneau de fibres de bois 140 mm hydrofuge côté extérieur
- 4) Bois massif contrecollé 85 mm
- 5) Plaque de plâtre 15 mm

$R_w (C ; C_{tr}) = 47 (-2 ; -7)$  dB  
 $R_A = 45$  dB  
 $R_{A,tr} = 40$  dB

Source : Finimur France - Mesure en laboratoire

Figure : 2.8.3.1b. : Différentes solutions des parois verticales bois avec leurs caractéristiques acoustiques

**Conclusion**

Nous remarquons que la solution 2 « ossature bois façades de, qui utilise le principe de la loi masse/ressort/masse, avec un indice d'affaissement acoustique aux bruits aériens intérieurs extérieurs  $R_w (C ; C_{tr})=58$  dB, plus élevé que les solutions 1 et 4. Donc la solution 2 a une meilleure performance d'isolation pour lutter contre les bruits aériens.

La solution 4 (panneau bois massif contrecollé) présente un indice d'affaissement plus faibles qu'une solution ossature bois, parce que ce type de mur fonctionne acoustiquement selon le principe de la loi de masse, et reste pénalisé par la faible densité du bois.

Dans le cadre de notre projet support mémoire, le choix s'est porté sur l'ossature bois solution type 2, car ce système constructif permet de répondre aux contraintes acoustiques du projet. Cette disposition constructive, minimise aussi l'impact des ponts phoniques résultant de la mise en place des équipements techniques pour fluides.

### 2.8.3.2 Les exigences d'isolement aux bruits de chocs

Les bruits de choc proviennent de pas, de chutes d'objets, de déplacements de meubles (chaises...) qui sont transmis à la fois par les planchers intermédiaires et indirectement par les parois verticales. Ils peuvent créer une réelle gêne, notamment dans les immeubles collectifs. Pour pondérer le niveau des bruits de choc, on peut d'une part renforcer l'isolement du plancher et, d'autre part, désolidariser le plafond du plancher.

#### ➤ Au-dessus du plancher

Pour renforcer les performances acoustiques d'un plancher d'étage, il est devenu traditionnel de poser une chape sèche ou de couler la chape en béton sur une sous-couche souple (liège, fibres de bois, mousse, isolant acoustique ou thermo-acoustique) et de les désolidariser des parois par la pose d'un matériau résilient ou d'une bande d'isolant. C'est un plancher flottant. Ensuite les lames d'un parquet flottant, par exemple, sont collées entre elles au niveau des rainures, et non sur le support, ou clipsées selon les systèmes disponibles sur le marché.

Il est recommandé de choisir des isolants acoustiques conçus précisément pour cette application, de les poser bord à bord et à joints décalés et de les recouvrir d'un feutre de protection (plutôt que du polyane).

#### ➤ Contraintes mécaniques

La difficulté en matière d'isolation acoustique des planchers réside dans l'équilibre à trouver entre la résistance mécanique de l'isolant et la souplesse nécessaire pour obtenir des performances acoustiques intéressantes.

Deux contraintes sont à prendre en compte. Tout d'abord, la contrainte mécanique liée à l'ensemble du plancher ou du système intégrant la partie structurelle ou porteuse et devant répondre aux charges d'exploitation courantes. Le strict respect du DTU 51.3 pour l'exécution du plancher de base est une condition nécessaire et minimale pour respecter les contraintes mécaniques.

Deuxièmement, la contrainte mécanique liée aux produits isolants acoustiques qui doivent relever un défi particulier : un isolant doit pouvoir à la fois supporter la charge d'exploitation mais aussi celle des matériaux qui sont directement posés au-dessus de lui.

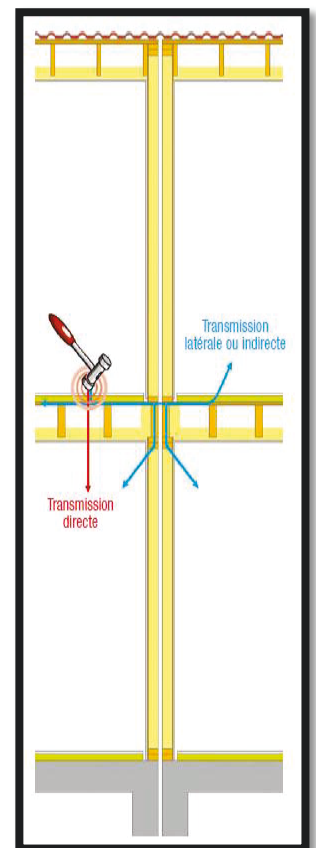


Figure : 2.8.3.2a. : Schéma de principe des transmissions directes et latérales/indirectes du bruit de choc

#### ➤ Au-dessous du plancher

L'isolation acoustique d'un plancher d'étage en bois peut également consister en la pose d'un isolant entre et sous les solives, maintenu au moyen d'une ossature suspendue sur laquelle sont fixées une ou deux épaisseurs de plaques de finition.

Pour améliorer encore plus la performance acoustique de ce plancher intermédiaire, il est recommandé de désolidariser complètement le plafond isolant du plancher d'étage en utilisant des ossatures bois ou métalliques de longue portée.



Ci-dessous les différentes solutions des parois horizontales bois et leurs caractéristiques acoustiques.

**Plancher solution type 1**

**Solives apparentes et chape sèche**  
Sans revêtement de sol  
1) 2 x Plaque de plâtre 13 mm  
2) PSE 45 mm  
3) Panneau type CTBH 22 mm  
4) Solives apparentes

$L_{n,w} = 79$  dB  
 $R_w (C ; Ctr) = 40 (-2 ; -6)$  dB

Source : CSTB - Mesure en laboratoire

**Plancher solution type 2**

**Solives non apparentes et chape sèche**  
Sans revêtement de sol  
1) 2 x Plaque de plâtre 13 mm  
2) PSE 45 mm  
3) Panneau type CTBH 22 mm  
4) Solives non-apparentes  
5) Laine minérale 100 mm  
6) 1 x Plaque de plâtre 13 mm suspendue par ossature métallique

$L_{n,w} = 56$  dB  
 $R_w (C ; Ctr) = 58 (-4 ; -12)$  dB

Source : CSTB - Mesure en laboratoire

**Plancher solution type 3**

**Solives non apparentes et chape flottante**  
Sans revêtement de sol  
1) Chape flottante  $\geq 50$  mm  
2) Laine de roche  $\geq 30$  mm  
3) Panneau type CTBH 22 mm  
4) Solives 220 mm, entraxe 625 mm  
5) Laine minérale 100 mm  
6) Tasseau 24 mm, entraxe 415 mm  
7) 1 x Plaque de plâtre 13 mm

$L_{n,w} = 54$  dB  
 $R_w (C ; Ctr) = 63 (-5 ; -11)$  dB

Source : Norme allemande DIN 4109 - Mesure en laboratoire

**Plancher solution type 4**

**Poutres en I non apparentes et chape flottante**  
Sans revêtement de sol  
1) Chape flottante 40 mm  
2) Laine de roche 20 mm  
3) Panneau type CTBH 22 mm  
4) Poutres en I non apparentes  
5) Laine de verre 100 mm  
6) 1 x Plaque de plâtre 13 mm suspendue par ossature métallique

$L_{n,w} = 52$  dB  
 $R_w (C ; Ctr) = 63 (-3 ; -10)$  dB

Source : CTBA - Mesure en laboratoire

**Plancher solution type 5**

**Bois apparent et chape sèche**  
Sans revêtement de sol  
1) Plaque de chape sèche 25 mm  
2) Laine de roche 20 mm  
3) Nid d'abeille + granules 60 mm  
4) Papier kraft  
5) Bois massif contrecollé 135 mm

$L_{n,w} = 51$  dB  
 $R_w (C ; Ctr) = 62 (-6 ; -14)$  dB

Source : Finitions France - Mesure en laboratoire

Figure : 2.8.3.2b. : Différentes solutions de planchers bois avec leurs caractéristiques acoustiques

**Conclusion**

Il existe deux types de chapes, les chapes sèches à base de plaque de plâtre ou de gypse, et les chapes humides, à base de mortier ciment. Grâce à leur densité les chapes humides présentent de meilleures capacités d'isolement au bruit aérien grâce à leur densité qu'au bruit d'impact.

Les chapes sèches s'appuyant sur le principe de la loi masse/ressort/masse, possèdent de meilleures caractéristiques à l'isolement aux bruits de chocs qu'aux bruits aériens.

Pour notre projet support mémoire, nous avons opté pour la solution type 2 « plancher solives non apparentes et chape sèche, pour l'ensemble du projet, afin de respecter les exigences d'isolement acoustiques aux bruits de chocs.

#### 2.8.4. Les exigences sur le plan thermique

La réglementation thermique « RT2005 » prend pour principe d'inciter les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, à prendre en compte pendant l'étude du projet de conception toutes les possibilités d'amélioration de la performance énergétique du bâtiment dans un cadre technique précisé par les textes. Elle s'applique à partir du 1er janvier 2013 pour tous les autres types de bâtiments neufs. Les objectifs s'organisent autour de trois grands principes suivants :

- L'isolation thermique (une enveloppe étanche aux déperditions de chaleur)
- Le renfort de l'inertie thermique
- Une étanchéité à l'eau et à l'air

##### 2.8.4.1 L'isolation thermique

L'isolation thermique d'une construction est une obligation réglementaire en construction neuve et sage recommandation lors d'une rénovation d'un bâtiment, elle consiste à augmenter la résistance thermique des murs, baies vitrées, toiture, planchers...etc, dans le but de réduire les déperditions thermiques afin de limiter les consommations en énergétiques du bâtiment. Sachant que les déperditions d'un bâtiment se concentrent soit sur les façades tout au tour des ouvertures au niveau des jonctions, des murs et les bâtis (portes et fenêtres), soit sur le nez des plancher, jonction façades-planchers.

Tout le bâtiment est donc concerné. Les isolants, leurs caractéristiques et leur pose diffèrent selon le système constructif.

La conductivité thermique, « $\lambda$ » (lambda), d'un matériau caractérise son aptitude à transmettre la chaleur ; il s'exprime en  $W/m \cdot ^\circ C$  (Watt / mètre x degré Kelvin), c'est-à-dire le flux de chaleur traversant « 1 m » d'épaisseur pour un degré d'écart.

Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant. «  $R = \frac{ep}{\lambda}$  »

La résistance thermique d'un matériau, « R », est proportionnelle à l'épaisseur de l'isolant et inversement proportionnelle à sa conductivité thermique. Elle s'exprime en  $m^2.K/W$  (mètre carré x degré Kelvin / Watt) et s'obtient par l'épaisseur en mètres sur le  $\lambda$ .

Plus la résistance thermique est élevée, plus le matériau est isolant. Selon les normes françaises, un isolant est reconnu comme isolant thermique :

- Si sa conductivité thermique,  $\lambda$ , est inférieure à  $0,06 W/m.K$
- Et sa résistance thermique,  $R \geq 0,5 m^2.K / W$ .

La résistance thermique d'un isolant au passage de la chaleur est donc fonction de son épaisseur et de sa conductivité thermique qui doit être la plus faible possible.

Lorsque l'on veut éviter de trop importantes épaisseurs d'isolant, il faut alors choisir un isolant ayant une conductivité thermique particulièrement basse, comme par exemple une mousse isolante en polyuréthane.

La résistance thermique globale d'une paroi est de :  $R_g = R_i + \sum \frac{ep}{\lambda} + R_e$

$R_i$  : résistance thermique d'échange surfacique intérieur

$R_e$  : résistance thermique d'échange surfacique extérieur

$E_p$  : l'épaisseur du matériau en mètre

$\lambda$  : conductivité thermique

Suivant les valeurs de conductivité thermique «  $\lambda$  » de certains matériaux de construction, il est possible d'établir un comparatif basé sur le rapport de la valeur de conductivité d'un matériau donné (béton, laine minérale, acier, aluminium ...) à celle d'un bois résineux, exemple l'Epicéa, qui représente l'essence utilisée dans notre projet.

MATERIAUX		Conductivité thermique (extérieur) W/m .°C	Rapport $\lambda$ matériau/ $\lambda$ Epicéa
BETON		2.20	14.67
ACIER		50	333.33
ALUMINIUM		160	1066.67
LAINES MINÉRALES		0.045	<b>0.30</b>
BOIS Résineux	EPICEA (d=0.45)	0.15	<b>1.00</b>
BOIS Feuillus	CHENE (d=0.65)	0.20	1.33

Tableau: 2.8.4.1a. : Comparatif des conductivités thermiques des matériaux de construction

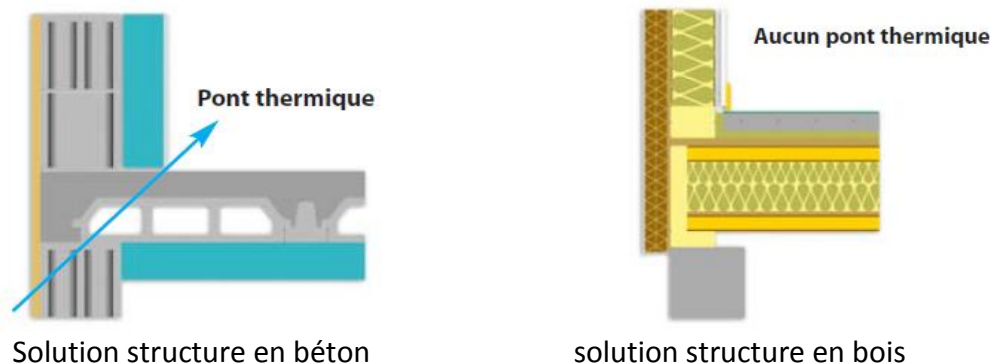
Source : RT 2005 Règles TH-U Fascicule 2 : matériaux

Suivant le tableau ci-dessus, nous remarquons que le bois possède de très bonnes qualités thermiques, il se classe en deuxième position derrière la laine minérale. Grâce à sa très faible conductivité thermique, le matériau bois limite très fortement la création de ponts thermiques. Ces qualités thermiques sont la résultante de sa structure anatomique alvéolaire. Elles sont également fonction de sa densité et de son taux d'humidité.

Le bois est un matériau de structure isolant par nature qui ne crée pas de ponts thermiques. L'ossature bois permet d'intégrer l'isolant thermique dans l'épaisseur même de la structure (isolants courants, fibres de bois, ouate de cellulose) et de rajouter aisément une couche d'isolant complémentaire croisée tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. La souplesse de cette technique d'isolation favorise l'adaptation aux performances recherchées selon la localisation du bâtiment et son usage.

N'oublions pas qu'au-delà de sa faible conductivité thermique, le bois a aussi un fort pouvoir hygrométrique. Or, un bâtiment doit être à la fois étanche à l'air, pour limiter, les déperditions, et respirant à la vapeur d'eau, pour éviter une hygrométrie trop élevée et ainsi préserver la qualité de l'air intérieur. Le comportement hygrométrique "intelligent" d'une construction bois peut être renforcé au moyen de parois perspirantes et par la présence

d'un film freine-vapeur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau appropriée à l'usage des locaux.



*Figure: 2.8.4.1b. : Comparatif des résultats des deux structures bois-béton en matière d'isolation thermique*

### Conclusion

Comme vue précédemment, en ce qui concerne l'isolation thermique des matériaux, bois-béton vue le comparatif des conductivités thermique, la construction structurelle bois présente d'énormes avantages thermiques comparativement à d'autres matériaux de construction. Suivant le tableau et figures ci-dessus le bois ne présente que des avantages thermiques comparativement à une solution béton. La construction bois réduit voir annule des déperditions par pont thermique.

#### 2.8.4.2 L'inertie thermique

Le rôle de l'inertie thermique d'un bâtiment est fonction de sa capacité à emmagasiner de la chaleur, le jour, et de la fraîcheur, la nuit, dans sa structure puis à les diffuser lentement, afin d'amortir les variations jour-nuit des températures intérieures.

Ce principe consiste à réguler la température dans un bâtiment, l'inertie thermique permet d'obtenir un décalage dans le temps par rapport aux températures extérieures. Ainsi lorsqu'on chauffe une maison, les éléments à forte inertie (murs, dalles, ...) vont accumuler de la chaleur et vont ensuite la restituer pendant des heures, même si on coupe le système de chauffage.

Elle permet de limiter les surchauffes dans les bâtiments non climatisés et de réduire les consommations d'énergie dans les bâtiments climatisés. L'amélioration du confort d'été induite par une augmentation de l'inertie est sensible lorsque l'on passe d'une inertie légère à une inertie moyenne mais moins au-delà.

Forte densité et capacité thermique, une bonne capacité l'inertie thermique d'un matériau se base sur sa densité. En comparant la densité du béton ( $2.5 \text{ t/m}^3$ ) à celle du bois résineux ( $0.45 \text{ à } 0.65 \text{ t/m}^3$ ), Le bois ayant une densité moins forte que le béton reste pénalisé en ce concerne le confort d'été. Ceci nous amène à dire que le béton possède une capacité à

emmagasiner des calories « l'énergie » presque 4 fois supérieure à celle du bois, se traduisant par une meilleure capacité à réguler les températures.

Raison pour la quelle dans les régions chaudes, il peut être nécessaire de renforcer l'inertie thermique d'une construction, notamment en bois, afin de créer un déphasage entre le moment où la chaleur pénètre dans les parois du bâtiment et celui où elle se diffuse dans les locaux. A cet effet, il est recommandé de choisir des isolants à forte densité et/ou à forte capacité thermique. Plus l'isolant est dense, plus il a la capacité d'emmagasiner des calories ; plus la capacité thermique d'un isolant est élevée, plus grande est la quantité de chaleur à apporter au matériau pour élever sa température, ce qui permet de réduire l'amplitude des températures. En outre, plus la conductivité (ou diffusivité) de l'isolant est faible, plus le flux de chaleur met du temps à traverser son épaisseur, ce qui augmente le temps de déphasage.

### 2.8.4.3 Etanchéité à l'eau et à l'air

Plus l'étanchéité à l'air et à l'eau est bien prise en compte en amont et réalisée avec soin, meilleure est la thermique. La maîtrise de la perméabilité à l'air caractérise l'aptitude d'un bâtiment à résister ou non au passage de l'air lors d'une différence de pression entre les deux faces interne et externe d'une paroi. Une trop forte perméabilité à l'air des bâtiments engendre de nombreux effets négatifs sur le confort thermique, le niveau de consommation d'énergie et la qualité de l'air intérieur.

Une trop forte perméabilité à l'eau nuit à la conservation du bâti. L'eau peut s'infiltrer dans les parois de façon ascensionnelle (coupure d'étanchéité détériorée), traversante (via jonctions sur façades exposées à la pluie) ou accidentelle (infiltration par exemple au travers de la toiture).

Pour cela les bâtiments doivent donc être étanches afin de limiter les pertes d'énergie et les gênes occasionnées, en même temps préserver la salubrité des lieux et la santé des occupants et assurer la durabilité de la structure.

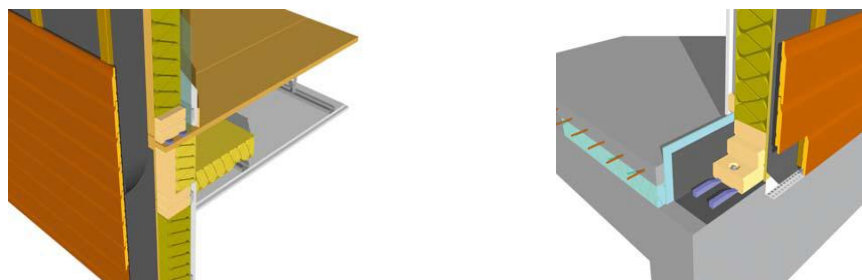
Pour effectuer une étanchéité à l'air et à l'eau performante, il faut en amont repérer les points de liaison délicats à traiter selon le mode constructif de la structure bois mis en œuvre : ossature bois, poteau poutre, empilage, panneau massif collé.

Il est possible d'utiliser des films pare-pluie pour protéger les parois extérieures des structures en bois (murs et toitures) et des films pare-vapeur pour limiter la transmission de vapeur d'eau à travers les parois et éviter la formation du point de rosée à l'intérieur de l'isolant.

Ces films, étanches à l'eau et à la vapeur d'eau, contribuent également à assurer l'étanchéité à l'air de l'ouvrage.

Les points à surveiller pour une bonne étanchéité à l'air des murs à ossature bois sont :

- la liaison horizontale mur/sol avec dalle béton
- la liaison horizontale mur/sol avec dalle bois
- la liaison panneau/panneau sur 2 niveaux
- la liaison menuiserie/panneau
- la liaison panneau/charpente traditionnelle
- la liaison panneau/charpente industrielle
- la liaison verticale panneau/panneau
- la liaison murs extérieurs/refends intérieurs

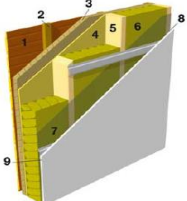


*Figure: 2.8.4.3a. : Exemple de joint de mousse comprimée en pied de doublage ou entre lisses pour empêcher l'air de s'infiltrer aux liaisons plancher/panneaux de façade*

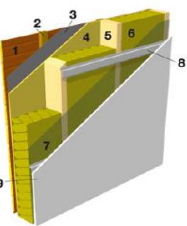
Pour notre projet support mémoire, les valeurs de l'étude thermique et en particulier des coefficients thermique  $U_p$ , fournis par le thermicien ont été étudiées suivant les exigences de la RT 2005.

Notre comparaison sur le traitement des parois se limitera uniquement sur le respect des exigences liées au coefficient de transmission thermique  $U_p$  des parois opaques. Les parois vitrées ne seront pas présentes en compte dans cette comparaison car elles sont en effet sans incidence sur le comparatif, les deux structures (bois et béton) ayant le même profil type.

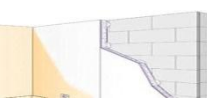
**Traitement des parois verticales**

Mur extérieur Bois + crépi	Désignation Mur extérieur + crépi	Ep cm	$\lambda$ W/m. °C	Résistance m <sup>2</sup> .°C/w	Up parois W/m <sup>2</sup> .°C	Up référence W/m <sup>2</sup> .°C
	2BA 13	2.6	0.200	1.130		
	Pare-vapeur	-	-	0.000		
	Laine minérale 185	18.5	0.045	4.111		
	OSB 12	1.2	0.120	0.100		
	ITE PU 50	5.0	0.022	2.273		
	Pare-pluie	-	-	-		
	Crépi	1.5	0.200	0.075		

Rsi + Rse	0.17		
Résistance thermique du mur	6.688		
Résistance thermique totale du mur	<b>6.858</b>	<b>0.146</b>	<b>0.721</b>

Mur extérieur Bois + bardage	Désignation Mur extérieur + crépi	Ep cm	$\lambda$ W/m. °C	Résistance m <sup>2</sup> .°C/w	Up parois W/m <sup>2</sup> .°C %	Up référence W/m <sup>2</sup> .°C
	2BA 13	2.6	0.200	1.130		
	Pare-vapeur	-	-	0.000		
	Laine minérale 185	18.5	0.045	4.111		
	OSB 12	1.2	0.120	0.100		
	ITE PU 50	5.0	0.022	2.273		
	Pare-pluie	-	-	-		
	Lame d'air	-	-	-		
	Bardage	2.0	0.230	0.087		

Rsi + Rse	0.17		
Résistance thermique du mur	6.701		
Résistance thermique totale du mur	<b>6.871</b>	<b>0.146</b>	<b>0.721</b>

Mur extérieur Béton + bardage	Désignation Mur extérieur + crépi	Ep cm	$\lambda$ W/m. °C	Résistance m <sup>2</sup> .°C/w	Up parois W/m <sup>2</sup> .°C %	Up référence W/m <sup>2</sup> .°C
	BA 13	1.3	0.200	0.065		
	Laine minérale 100	10.0	0.045	2.222		
	Crépi 15	1.5	0.200	0.075		
	Béton	20	2.00	0.100		

Rsi + Rse	0.17		
Résistance thermique du mur	2.462		
Résistance thermique totale du mur	<b>2.632</b>	<b>0.380</b>	<b>0.536</b>

*Tableau: 2.8.4.3b. : Comparatif des capacités d'isolation thermique des parois, bois et béton*

### 2.8.1. Les exigences sur la stabilité au feu du bois

Les structures en bois ou dérivés bois doivent respecter des exigences de performances, face au risque d'incendie, qui sont fonction du type de bâtiment, ici un bâtiment habitation, du rôle à jouer par le produit (structure, revêtement...) et de l'emplacement du produit dans la construction.

Ces exigences de performances pour les structures en bois ou à base de bois utilisés dans la construction concernent deux notions à bien différencier:

- la réaction au feu
- Et la résistance au feu, deux notions à bien différencier.

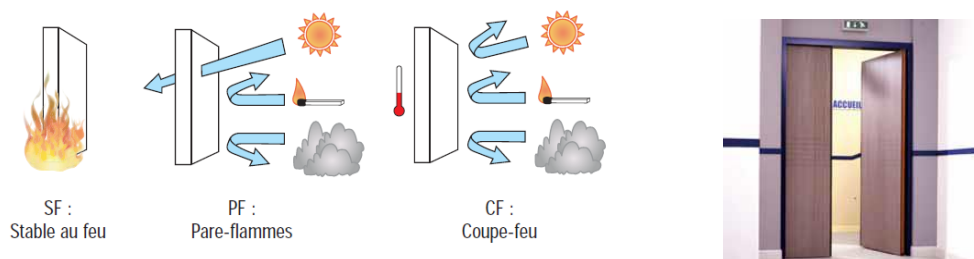
#### La résistance au feu

La résistance au feu représente le temps pendant lequel les éléments de construction continuent à remplir leur fonction malgré l'action de l'incendie. Elle concerne les éléments porteurs (poteaux, poutres, structures de toitures, planchers), ainsi que les éléments de séparation ou de protection (cloisons, portes, plafonds, conduits, clapets, ventilateurs de désenfumage).

On distingue trois critères de résistance au feu, exprimés en fraction d'heure :

- La stabilité au feu (SF) : durée pendant laquelle l'élément résiste mécaniquement ;
- Le degré pare-flamme (PF) : durée pendant laquelle l'élément reste étanche aux flammes, aux gaz et aux fumées ;
- Le degré coupe-feu (CF) : durée pendant laquelle l'élément assure une isolation thermique suffisante pour ne pas échauffer la face non exposée au foyer.

Le degré de résistance s'exprime par un temps compris entre 1/4 d'heure et 6 heures. Les exigences de stabilité au feu sont différentes selon le type de bâtiment.



*Figure: 2.8.1a. : Exemple figures explicative des trois critères de résistance au feu*



## La réaction au feu

La réaction au feu représente la propension d'un produit à participer au développement du feu du fait de son caractère plus ou moins combustible. La qualification va d'incombustible à facilement inflammable. Le critère de réaction au feu ne concerne que les matériaux de revêtement (de sol, de mur, de façade...) et les éléments structurels surfaciques.

Les éléments de structure, tels que les poteaux et poutres sont concerné par le critère de réaction au feu s'ils sont destinés à rester apparents comme les murs, de façade.

La réglementation précise la classe de réaction au feu exigible en fonction de l'emplacement du produit. Ci-dessous le classement français de réaction au feu, des matériaux de construction.

- M0 = incombustible
- M1 = non inflammable
- M2 = difficilement inflammable
- M3 = moyennement inflammable
- M4 = facilement inflammable

Suivant les règles de la commission Européenne, de nos jours Pour qu'un fabricant puisse mettre son produit de construction sur le marché européen, il doit désormais prouver, via le marquage CE, que son produit est apte à l'usage et qu'il respecte les exigences essentielles de la Directive Produits de Construction (DPC).

Cela a donc supposé de mettre au point des méthodes d'essais et d'adopter une classification commune à tous les pays européens - les Euroclasses - dans le but harmoniser les caractéristiques de réaction au feu et de résistance au feu des produits de construction de tous les pays membre.

Concernant la Français, les Euroclasses ont été transcrites dans la législation française par l'arrêté du 22 mars 2004. Une période transitoire de 7 ans a été accordée aux membres de l'Union pour mettre en place des équivalences concernant la résistance au feu :

- SF devient R (résistance)
- PF devient E (étanchéité au feu)
- CF devient I (isolation thermique)

En ce qui concerne la réaction au feu l'harmonisation entre les pays membres a été beaucoup plus complexe, les travaux ont d'ailleurs duré de 1992 à 2000 pour y arriver, pour une raison simple, « la différence sur les essais des matériaux » d'un pays à l'autre.

Aujourd'hui les règlements de sécurité français n'ont pas été modifiés du fait de l'existence de tableaux de correspondance entre les anciens classements M français et les Euroclasses. Les deux systèmes de classement, français et européen, coexistent. Voir le tableau ci-dessous.

## NTOLLA François Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment

Règlementation européenne NF EN 13501-1			Règlementation française	Règlementation française	Règlementation européenne
A1			Incombustible	SF 1/2h	R 30
A2	s1	d0	M0	PF 1/4h	E 15
A2	s1	d1	M1	CF 1h	I 60
A2	s2	d0			
	s3	d1			
B	s1	d0			
	s2	d1			
	s3				
C	s1	d0	M2		
	s2	d1			
	s3				
D	s1	d0	M3		



*Tableau: 2.8.1b. : Correspondance des classements M français et les Euroclasses*

La résistance au feu est à étudier en amont, dès le stade préparatoire, le comportement et la stabilité au feu des structures, ainsi que les degrés coupe-feu des différentes parois nécessitant un traitement de tenue au feu, doivent être identifiés. En fonction des exigences requises, les éléments en bois exposés sont protégés par des plaques de plâtre cartonnées ou fibreuses, voire des matériaux ininflammables.

La résistance au feu d'un ouvrage peut être soit justifiée par le calcul, soit obtenue par ajout d'un parement de protection possédant un PV d'essais, soit par la combinaison des deux. Cependant, le DTU feu-bois 88 détermine un ensemble de solutions pour satisfaire aux différentes exigences demandées sans recourir à des justificatifs (PV d'essais et/ou calculs).

La vitesse de combustion des éléments en bois dépend de l'essence employée (résineux, feuillus), de l'épaisseur des pièces, de leur taux d'humidité et de l'exposition au feu.

Pour les pièces structurales de section importante, le matériau bois a un bon comportement au feu, car la vitesse de combustion est inversement proportionnelle à la masse volumique et la massivité (section/périmètre) de l'élément en bois. Les pièces de forte section (épaisseur supérieure à 6 cm) brûlent lentement, de lors de 0.7 mm/min par face exposée au feu. Car la couche externe de charbon de bois ralentissant encore la combustion.

Pour Le bois massif ou lamellé-collé brûle à raison de 1 cm par face et par quart d'heure et les panneaux bois à raison de 1,5 cm par face et par quart d'heure.

Le bois possède pour atouts une très faible dilatation thermique 3 à 4 fois inférieure à celui du béton ou de l'acier, le efforts dus aux déplacements résultant des phénomènes de retrait ou de gonflement sous des variations de température restent limités.



*Figure: 2.8.1b. : Comportement d'une section de bois face au feu*

En cas d'incendie, de par sa faible conductivité thermique, le bois transmet 12 fois moins vite la chaleur que le béton, 250 fois moins vite que l'acier et 1 500 moins vite que l'aluminium. Par conséquent, le cœur des éléments en bois est protégé de l'incendie plus

longtemps, ainsi que leurs assemblages métalliques. Lors de la combustion, il se forme en surface des éléments en bois une couche carbonisée qui, étant huit fois plus isolante que le bois lui-même, freine la combustion. De ce fait, le bois se consume donc lentement, car la couche externe de charbon de bois ralentissant encore la combustion.

En outre, contrairement à de nombreuses autres matières, le bois dégage 1500 fois moins de gaz toxiques.

### **Conclusion**

Vue les caractéristiques spécifiques au bois, énoncées ci-dessus, font que le bois est certes combustible, il offre une excellente tenue au feu par rapport aux autres matériaux de construction. Il a notamment une forte capacité à conserver ses propriétés mécaniques sous les effets d'un incendie, ce qui permet d'assurer une grande stabilité des ouvrages.

Ces caractéristiques font que les pompiers sont autorisés, par leur règlement, à intervenir plus longtemps sous une charpente en bois qu'une structure en béton ou acier.

### **2.8.2. Le contreventement des structures bois**

Un édifice soumis à la pression du vent, subit des sollicitations horizontales, (en principe temporaires) qui tendent à déformer la structure. Le terme "contreventement" désigne la fonction mécanique ainsi que les éléments qui concourent à assurer la rigidité et la résistance de la construction. Ces éléments de contreventement peuvent être décomposés en deux groupes :

- Le contreventement vertical réalisé sur les murs doit être conçu de façon à rigidifier et à stabiliser la structure sur toute la hauteur du bâtiment tout en transférant les d'efforts aux fondations.
- Le contreventement horizontal réalisé sur les planchers et la toiture, il assure le transfert des efforts horizontaux aux éléments de contreventement verticaux par cisaillement, il permet aussi de raidir l'ensemble de la structure et ainsi prévenir le déversement des éléments porteurs verticaux.

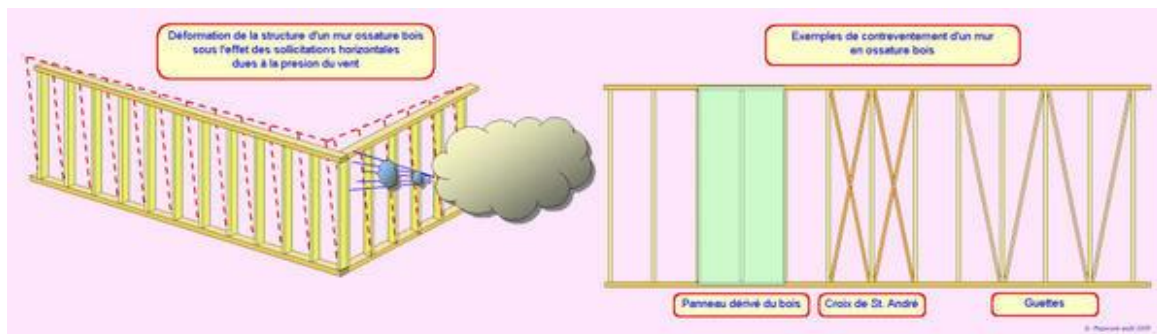
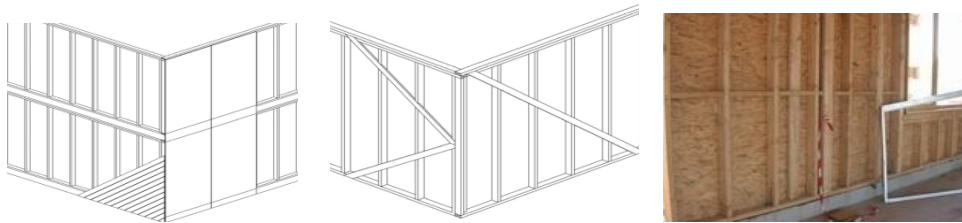
#### **Contreventement dans le plan du mur**

La méthode la plus pratiquée consiste à utiliser des panneaux dérivés du bois pour assurer l'indéformabilité de l'ossature murale dans son plan. Ces panneaux doivent répondre à des exigences minimum de qualité, d'épaisseur et de clouage.

Du point de vue de la stabilité, ils peuvent être disposés indistinctement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'ossature. Mais pour des raisons de fixation des revêtements extérieurs ils sont le plus souvent mis à l'extérieur.

Cette ossature murale peut être contreventée dans son plan par :

- Par des voiles travaillant en panneaux dérivés du bois, (OSB, contreplaque, les panneaux de particules, les planches à 45°)
- Par triangulation, des pièces de bois insérées dans les montants (écharpes, croix de St André...).



Figures 2.8.2a. Exemples de contreventement par panneaux et par triangulation

### Contreventement dans des plans perpendiculaires au mur

Les murs peuvent être contreventés dans un plan perpendiculaire, par l'extérieur ou par l'intérieur :

- Par d'autres éléments de structure stabilisés (murs de refend, planchers...),
- Par des dispositifs particuliers dont certains assurent une autre fonction (panneaux de sous toiture, poutre au vent, anti-flambage)



Figures 2.8.2b. Exemples de contreventement dans les plans perpendiculaires au murs

## 2.9. LES DIFFERENTS ACTEURS DU PROJET

Maître d'ouvrage	SCCV GWDELITE PROMOTION	
Maître d'œuvre	R2M Consultants	
BET - Thermique	R2M Consultants	
Architecte	CARRE Architecture	
Bureau de contrôle	VERITAS	
Coordonateur SPS	QUALICONSULT Sécurité	
BET Géologique/Géotechnique	GEO Experts	
BET – Structure bois	RUSTICASA	

*Tableau : 2.7. Les acteurs du projet*

## 2.10. PLANNING DU PROJET

Le planning prévisionnel des travaux tous corps d'état a été établi durant la phase d'appel d'offres par le maître d'œuvre en coordination avec le maître d'ouvrage, puis validé et complété durant la phase de préparation aux travaux. Ce dernier permet de définir les différentes phases des travaux, les dates critiques à respecter par chaque corps d'état suivant les lots.

La date de début des travaux a été fixée par le maître d'ouvrage, sachant que la durée totale du chantier est estimée à 8 mois compris les délais de préparation, d'installation et de levée des réserves, conformément au planning prévisionnel joint au DCE. (Voir annexe 1)

### 2.10.1. Chronologie du projet (planning prévisionnel des travaux)

Voici quelques dates importantes du projet, au niveau de l'installation du chantier, la démolition et l'évacuation, le gros œuvre (infrastructure) et la superstructure bois. « S » (semaines 2012-2013).

Désignation des lots	Durée d'exécution
Installation de chantier	S39 à S40
Démarrage des travaux de démolition/évacuation	S40 à S42
Gros Œuvre / Maçonneries (tous les ouvrages infra)	S43 à S02
Etanchéité	S01 à S10
Isolation extérieur/ravalement	S52 à S15
Menuiseries extérieures	S45 à S05
Cloisons / Doublage/ Faux Plafond	S51 à S17
Electricité / Photovoltaïque	S40 à S20
Menuiseries intérieures	S52 à S10
Ossatures bois 'RUSTICASA »	S45 à S10

### 2.10.2. Mon rôle dans le projet

Dans le cadre de ce mémoire de Fin d'Etudes, je me suis lancé dans le projet VILLAS PHILIBERT dès la phase d'étude du projet. Les travaux de démolition de l'ancien bâtiment n'étant pas encore commencés, le projet était en phase de préparation. J'ai donc travaillé avec le bureau d'études R2M Consultants, mais aussi en étroite collaboration avec l'architecte et l'équipe travaux du projet, avec la coordination de l'ingénieur responsable du projet. Ce travail de collaboration entre ces trois services, a permis de réaliser des schémas de principe, en participant à des réunions hebdomadaires sur le site, de discuter des différentes solutions techniques réalisables et de choisir les solutions les plus faciles à mettre en place sur le chantier, tout en restant dans le budget prévisionnel.

Dès mon arrivé il m'a été demandé par le chef du projet, Mr Nicolas MAYEYE avec l'appui des différents services du bureau d'études de prendre connaissance du projet.

La première phase consiste à étudier les différents plans coupes et détails (les plans d'avant projet et les plans architecte) le CCAP, l'étude de sol, l'étude thermique, le CCTP et des premières esquisses de la superstructure à ossature bois du bâtiment réaliser par l'entreprise RUSTICAZA. Cette étude comparative comprend la définition des systèmes porteurs et la détermination des critères de choix entre les deux solutions. Le projet consiste à faire une comparaison structurelle entre la structure à ossature bois et la structure en béton armé.

La second phase du projet est concentré sur le projet de construction proprement dit « Villa PHILIBERT », présenté plus loin. Cette phase a pour but, en s'appuyant sur le choix et les résultats de la première phase, à définir et à étudier la structure du projet de construction. Après le choix de la structure porteuse en parallèle avec l'architecte du projet, l'étude prévoie les matériaux et le système de construction à mettre en œuvre. L'architecte et le maître d'ouvrage et le chef de projet se chargent de la mise au point de tous les détails constructifs y compris les interfaces entre corps d'état. Le projet se termine sur une mise en place du planning de préparation et d'exécution ainsi que la création des modes opératoires et le suivi des travaux tous corps d'état.

Une attention particulière sera apportée aux problèmes liés à l'environnement et de la sécurité lié à la pose des panneaux et poutres (éléments prefa).

## **2.11. PROJET B.B.C**

### 2.11.1. Réglementation Thermique RT2005

Loi applicable à tous les permis de construire déposés à partir du 28 octobre 2011 pour les bâtiments neufs du secteur tertiaire, publics (bureaux et enseignements) et les bâtiments à usage d'habitation construits en zone ANRU (Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine).

Elle s'applique à du partir du 1er janvier 2013 pour tous les autres types de bâtiments neufs. Les objectifs sont :

- Efficacité énergétique du bâtiment liée à la conception du bâti et à son optimisation.
- Une consommation énergétique maximale 50 kWhep/m<sup>2</sup>(SHON) /an.
- Un confort d'été sans avoir besoin de recourir à un système de refroidissement.

### 2.11.2. Textes réglementaire

L'étude thermique du projet a été réalisée en interne par le thermicien, à l'aide du logiciel U22win des LOGICIELS PERRENOUD approuvé par le Comité d'Evaluation du CSTB du 25 Juin 2010. L'objet de cette étude thermique est de répondre aux impératifs demandés par le Label BBC-Effinergie défini par l'arrêté du 03 Mai 2007. Le niveau de performance du bâtiment est calculé en fonction de la méthode de la RT2005 défini par l'arrêté du 26 Mai 2006 «relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties de bâtiments » et à la méthode de calcul Th-CE selon l'arrêté du 19 Juillet 2006. «relatif au Le niveau d'exposition quotidienne au bruit de la pression acoustique et au niveau d'exposition hebdomadaire au bruit.. à l'exemple :

- Résistance thermique « R minimale » pour les combles, toitures terrasses, rampants de toiture, murs et planchers.
- Le coefficient de transmission thermique maximal «U<sub>w</sub>» des portes, fenêtres et façades.
- La puissance des chaudières « P<sub>n</sub> », des pompes à chaleur, climatiseurs etc....

### 2.11.3. Le label BBC-Effinergie

Pour pouvoir obtenir le label BBC - effinergie, l'exigence principale est de ne pas dépasser une valeur de consommation de :  
50 kWhep par m<sup>2</sup> de SHON\* et par an

Les calculs sont faits en utilisant la méthode Th-CE qui est celle de la Réglementation Thermique 2005. Les résultats sont donc présentés en kWh d'énergie primaire\* par m<sup>2</sup> de Surface Hors Œuvre Nette (SHON). On tient compte de la diversité des climats en multipliant cette valeur de 50 par un coefficient de rigueur climatique.

Les valeurs de l'exigence varient donc, selon les régions, entre 40 et 65 kWhep/m<sup>2</sup> SHON.an.

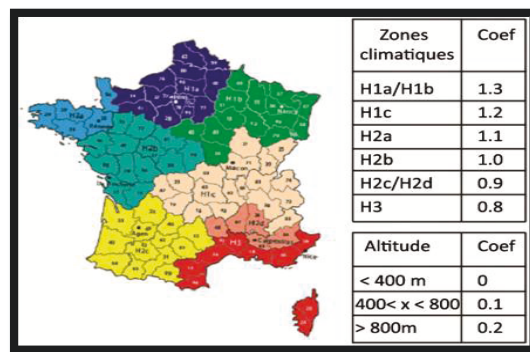


Figure : 2.9.3. Tableaux de coefficient de rigueur climatique

#### 2.11.4. Cinq usages de l'énergie

Cette consommation ne doit pas dépasser porte sur les usages de l'énergie sur lesquels on peut agir dès la conception d'un bâtiment :

- Le chauffage et climatisation
- L'eau chaude sanitaire
- Les auxiliaires de ventilation et de chauffage
- L'éclairage (via l'éclairage naturel)

Elle ne comporte donc pas les autres usages de l'électricité (notamment pour l'électroménager, l'audiovisuel, etc.) qui peuvent représenter à eux seuls plus de 50 kWh/m<sup>2</sup>.an.

#### 2.11.5. Test d'Étanchéité à l'air

Le test d'étanchéité à l'air sert à valider le label BBC, l'objectif est de visualiser les infiltrations d'airs parasites et de quantifier la perméabilité à l'air du bâtiment, elle doit être mesurée et être :

- Inférieure à **0.6 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>** pour les maisons individuelles,
- Egale à **1 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>** dans les immeubles collectifs,
- **1.7 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>** pour du non résidentiel

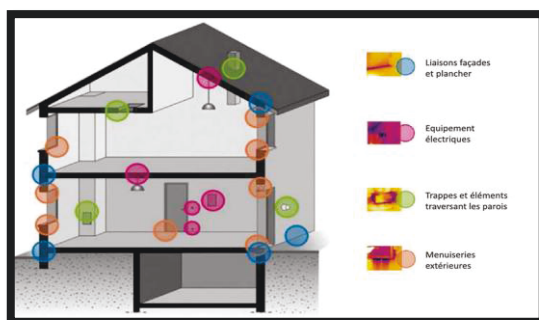


Figure : 2.9.5a coupe type montrant les zones sensibles par où passent les fuites

Figure : 2.9.5b Mesure de la perméabilité à l'air du projet « Principe de la porte soufflante



### 2.11.6. Critères de calcul suivant RT2005

L'expression de certains critères complètent la démarche de la Réglementation Thermique sur 4 points dans le cadre du label :

1. Les émissions de CO<sub>2</sub> et la part d'énergies renouvelables utilisées dans le bâtiment doivent être calculées et fournies dans le cadre de la demande de label.
2. Pour permettre une bonne valorisation des solutions de chauffage bois, le coefficient de passage en énergie primaire pour le bois retenu est égal à 0,6.
3. Un des objectifs étant une bonne performance thermique du bâtiment, la production locale d'électricité (photovoltaïque, micro-éolien, etc.) n'est déduite des consommations d'énergie qu'à concurrence de 12 kWhep/m<sup>2</sup>.an  
(Cette valeur représente la part moyenne d'électricité spécifique dans la consommation en kWhep/m<sup>2</sup>.an d'un projet BBC).
4. Si la SHON dépasse de 20 % la surface habitable, la surface prise en référence pour répondre aux exigences BBC est de 1,2 fois la surface habitable.

## 2.12. LES LABELS ET SOLUTIONS TECHNIQUES DU PROJET BBC

### 2.12.1. Organismes certificateurs

Quatre organismes certificateurs reconnus par l'état, utilisent la marque Effinergie pour la certification des BBC :

**PROMOTELEC** pour les maisons individuelles, les logements individuels groupés et les logements collectifs, dans le cadre de son label Performance,

**CERQUAL** pour les immeubles collectifs et les logements individuels groupés, en association avec les certifications Qualitel (confort et économie de charges et respect de l'environnement).

**CEQUAMI** pour les maisons individuelles en secteur diffus, en association avec les certifications NF maisons individuelles et démarche HQE.

**CERTIVEA** pour les bâtiments tertiaires (écoles, bureaux...) en association avec la certification NF bâtiment Tertiaires-Démarche HQE.

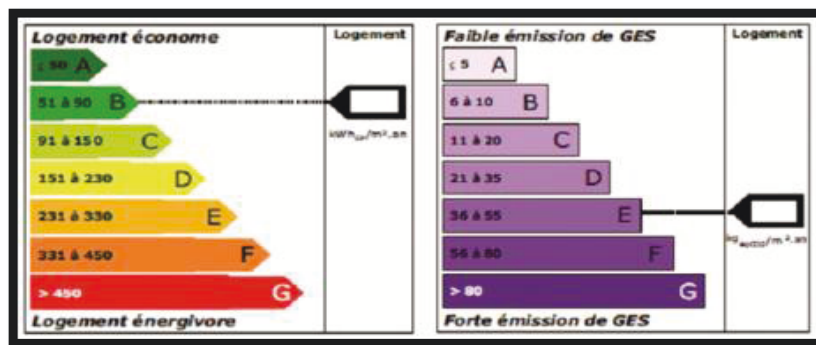


Figure : de gauche, d'évaluation de la quantité d'énergie consommée

Figure : de droite, d'évaluation d'émission de gaz à effet de serre

### 2.12.2. Gestion d'un projet de construction BBC.

La qualité d'un bâtiment et ses performances en matière de confort et de consommation d'énergie sont le résultat des choix et actions conjoints de la maîtrise d'ouvrage, de la maîtrise d'œuvre, des entreprises, des gestionnaires et des occupants des bâtiments.

A chaque phase d'un projet BBC- effinergie, la coordination entre les acteurs va être un point essentiel pour atteindre l'objectif d'un bâtiment confortable et très économe en énergie.

Il est donc crucial que chacun se pose les questions clés aux différentes phases qui s'étendent du programme à l'exploitation du bâtiment.

### 2.12.3. Choix des solutions techniques et architecturales

De nombreuses solutions de combinaisons architecturales et techniques existent pour réussir un bâtiment BBC – effinergie.

Pour chaque bâtiment, les concepteurs doivent faire des choix pour définir les combinaisons de parois, leurs interactions et adéquations avec les équipements et systèmes pour retenir les plus adaptés au contexte local, aux souhaits des partenaires, aux savoir-faire des entreprises locales, à leur expérience, ...

Les solutions sont présentées ici par groupe autour de différents thèmes. Les graphiques présentant des résultats chiffrés ont été obtenus à partir de simulations informatiques faites sur quelques exemples. Ils ont pour objectif de donner des ordres de grandeur sur l'impact des différentes options en matière de consommation d'énergie ou de confort d'été.

Pour chaque bâtiment faisant l'objet d'une demande de label BBC - effinergie, ce sont les études thermiques, utilisant les méthodes de la réglementation thermique, qui permettent de vérifier que les exigences BBC - effinergie, pour le bâtiment concerné, sont bien satisfaites.

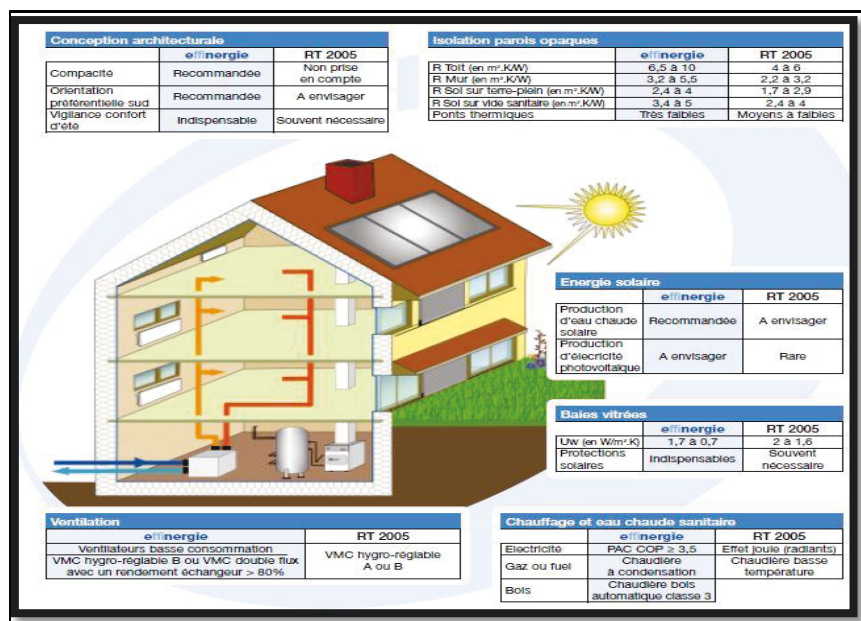


Figure : 2.10.3 quelques solutions énergétiques - Source : Effnergie

#### 2.12.4. La conception architecturale

Le maître œuvre établira, en concertation avec le maître ouvrage dès les premières esquisses la forme du bâtiment, le maître mot étant la compacité du bâtiment. Cette compacité représente le rapport entre le volume habitable et l'ensemble des surfaces de déperdition. Les pertes sont d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable. La réduction des décrochés de façades, l'optimisation de la compacité, l'orientation des pièces, l'ouverture au soleil, taille et positionnement des baies, dissimulation et protections face aux vents sont les clés de la réussite d'un projet BBC.

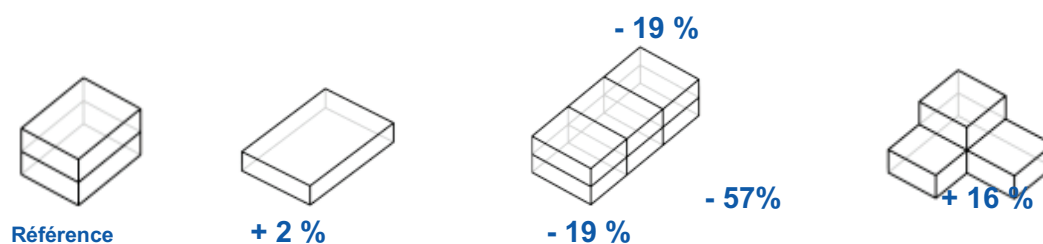


Figure : 2.10.4 Comparaison de déperditions de différents logements de 96m<sup>2</sup>

#### 2.12.5. La ventilation

Des études montrent que dans les logements mal ventilés, l'air intérieur peut être plus pollué que l'air extérieur. La ventilation est donc une priorité, à condition de limiter les déperditions de chaleur par l'utilisation de systèmes performants.

### 2.12.6. Système double-flux

Suivant les résultats de l'étude thermique le maître ouvrage a opté pour un système de ventilation à double-flux « domestique T.Zen » alimenté par des panneaux photovoltaïque\* installés sur la toiture et orientés vers le sud, ce système assure jusqu'à 4 fonctions : le chauffage, le rafraîchissement, la ventilation à double-flux et production d'eau chaude sanitaire. Le renouvellement d'air est assuré mécaniquement par insufflation\* dans les pièces de vie et l'extraction dans les sanitaires et la cuisine.

Grâce à un échangeur de chaleur entre l'air du bâtiment et l'air frais, appelé centrale double flux (cf schéma), on réchauffe l'air frais avec la chaleur de l'air évacué, sans mélanger les flux. On peut récupérer plus de 90 % des calories extraites, à condition que le bâtiment soit étanche à l'air, car tout l'air neuf entrant doit passer par l'échangeur de chaleur.

Ce système permet par ailleurs une filtration des polluants et allergènes provenant de l'extérieur (particules, pollens...) et élimine les problèmes de bruit liés aux ouvertures dans les fenêtres des systèmes de ventilation classiques. La qualité des ventilations double flux peut être variable : il faut choisir un produit présentant une bonne efficacité de récupération de l'échangeur (plus de 70 % pour des bâtiments tertiaires), avec des moteurs à faible consommation d'énergie (à courant continu...).

Le système « T.Zen » choisit pour le projet permet de couvrir 100% des besoins de chauffage.

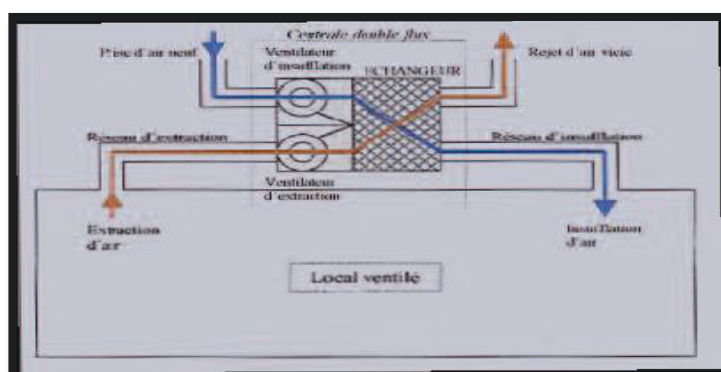


Figure : 2.10.6. Coupe type système de ventilation à double-flux

Le traitement de l'étanchéité à l'air et une gestion maîtrisée de la vapeur d'eau de l'ensemble du bâti sont essentiels.

Une attention particulière doit être portée sur la performance acoustique d'isolement aux bruits extérieurs, sur le traitement des ponts thermiques structurels (en particulier pour les ossatures acier), ainsi que sur le respect des conditions de confort d'été.

Le plancher bas doit être particulièrement bien traité du point de vue thermique.

Dans un bâtiment répondant au label BBC - effinergie, les niveaux de performance thermique des parois courantes devront être choisis pour que l'ensemble parois et ponts thermiques satisfasse les valeurs de résistances thermiques et de ponts thermiques décrites ci-dessus. Une attention particulière devra être portée à l'épaisseur des parois et à leur niveau d'isolation.

## **2.13. LE ROLE DU BUREAU D'ETUDES R2M CONSULTANTS**

Comme il a été mentionné dans la partie « 4.3.1 la maîtrise œuvre », R2M Consultants assure la conception technique de l'infrastructure en béton armé. Le bureau d'études a pour objectif le suivi du projet dans son ensemble, de la préparation de chantier jusqu'à OPR (Opération Préalable à la Réception), levée des réserves et réception définitive du projet.

### **2.13.1. La cellule de Synthèse**

R2M Consultants est également en charge de la synthèse. Celle-ci concerne l'interface entre les intervenants de tous les lots. Le pilote de l'équipe de travaux assure la coordination, le chef de projet assure la synthèse technique entre les entreprises de gros œuvre « infrastructure en B.A », et celle en charge de la réalisation de la superstructure à ossature bois. Les informations sont reportées sur un compte-rendu et diffusé à tous les intervenants. Il est prévu que les conducteurs de travaux de chaque lot assistent aux réunions de synthèse.

### **2.13.2. Encadrement du chantier**

Le chantier est organisé de la manière suivante :

- Le chef de projet, Mr Nicolas MAYEYE à temps plein assisté de Mr François NTOLLA, impliqués à temps partiel sur l'opération, (définition des objectifs stratégiques et besoins, gestion du planning et des sous-traitants, gestion des relations avec différents bureaux d'études et contrôle, management d'équipe projet, suivi des travaux);
- L'architecte, Mr Charles CARRE, affecté à plein temps à cette opération, (vérification de la bonne conformité des normes et respect du cahier des charges);
- Le pilote, Mr Karim GUENINECHE, affecté à temps plein assure le pilotage de chantier et la rédaction des comptes-rendus des travaux effectués;
- Un chef de chantier principal, Mr DACUNHA, présent en permanence sur le chantier, en charge de la coordination et suivi des travaux

## 3. COMPARAISON STRUCTURELLE BOIS - BETON

### 3.1. DESCENTE DE CHARGE ET DIMENSIONNEMENT A L'EC5 ET L'EC2

On appelle « descente de charge », l'opération qui consiste à calculer pour tous les éléments porteurs de la construction (murs et poteaux) les charges qu'ils supportent à chaque niveau en partant du dernier niveau en descendant jusqu'au plancher bas du RDC (zone limite de l'étude).

Afin d'effectuer une comparaison « structurelle bois – béton armé » du projet, j'ai opté pour une descente de charges et le dimensionnement en deux phases :

- **Première phase/étude de l'EC5**

Descente de charges et le dimensionnement des différents éléments de la structure du bâtiment en « ossature bois » de la charpente jusqu'au plancher bas du RDC (suivant l'EC5).

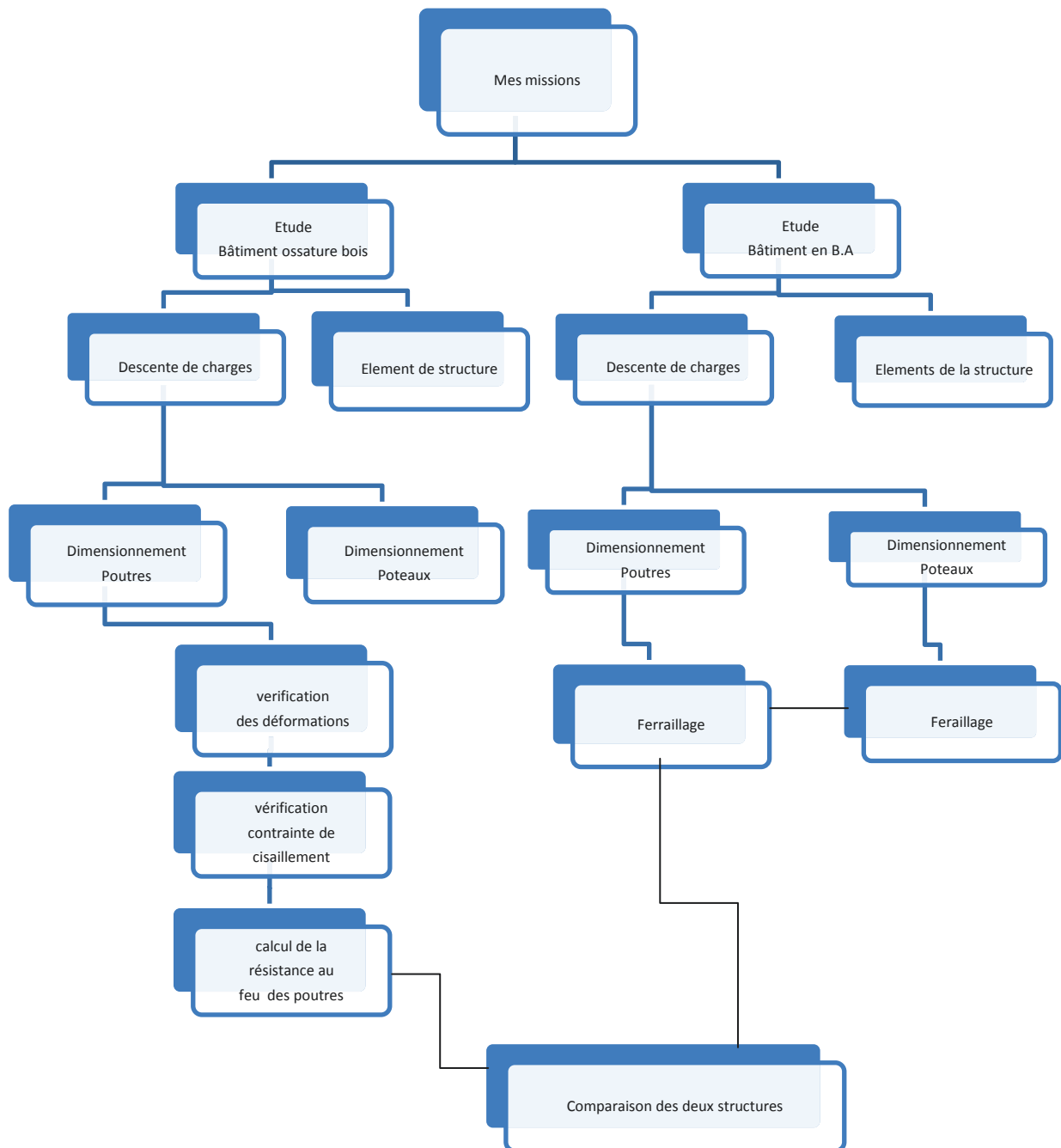
- **Deuxième phase/étude de l'EC2**

Descente de charges et le dimensionnement de la structure en « béton armé » pour le même bâtiment, de la charpente jusqu'au plancher bas du RDC (suivant l'EC2)

Ma mission qui consistait à effectuer les descentes de charges et le dimensionnement d'élément de la structure afin de faire une comparaison structurelle était très passionnante et instructive, car elle m'a permis de comprendre la structure du bâtiment et de rentrer dans le détail du projet. Notamment au niveau des charges reprises par les poutres du plancher bas du RDC.

N'ayant aucune expérience dans le domaine de la construction en bois, j'ai préféré faire cette descente de charge à la main pour mieux appréhender les règles de calcul des structures en bois « Eurocode 5 ». De ce fait, j'ai pu faire un autocontrôle des résultats obtenus avec les logiciels « GRAITEC Advance Design et Arche Melody pour les deux structures, bois-béton armé » en comparant avec les résultats obtenus manuellement.

Ci-joint, un schéma heuristique traduisant mes missions réalisées au cours de ce projet.



Pour ce projet, les charges verticales pressentes sont de trois types :

- **Des charges linéaires**, reprises par les poutres et les longrines. Ces charges sont dues au poids propre des façades.
- **Des charges surfaciques**, reprises par des planchers. Ces charges sont dues aux charges permanentes et d'exploitation du bâtiment.
- **Des charges ponctuelles**, reprises par quelques poteaux de la structure.

Il existe un seul type de distribution de charges dans ce projet :

Toiture → Poutres → Poteaux → Plancher → Poteaux → Poutres RDC

Mon rôle a été de récapituler les différentes charges présentes sur la structure, et de réaliser la descente de charge. Pour cela, dans un premier temps, j'ai effectué cette descente de charge à la main sur la zone 1 bâtiment, sachant que les trois zones sont presque identiques.

### **3.2. ETUDE DU PROJET**

Cette phase consiste à choisir un système poteaux poutres capable de transmettre l'ensemble des sollicitations de la superstructure à l'infrastructure puis au sol tout en respectant les plans architecturaux en apportant quelques améliorations, exemple pour la structure en bois il faut prévoir une poutre sur deux appuis (portée L des files 1-2 et 2-3), en bois massif au milieu de chaque zone, ceux pour les planchers hauts du RDC et 1<sup>ER</sup> étage plans élévation RDC, 1<sup>er</sup> étage, 2<sup>e</sup> étage ainsi que la vue en 3D du projet (voir annexe : 3).

Tout au long de cette phase, nous avons veillé à :

- Respecter les plans de l'architecte
- La conformité entre les plans architecturaux et les modifications apportées,
- Respecter les normes en vigueur en ce qui concerne l'EC5 et l'EC2,
- La faisabilité technique de la structure en bois et en béton armé,
- Respecter l'enveloppe financière

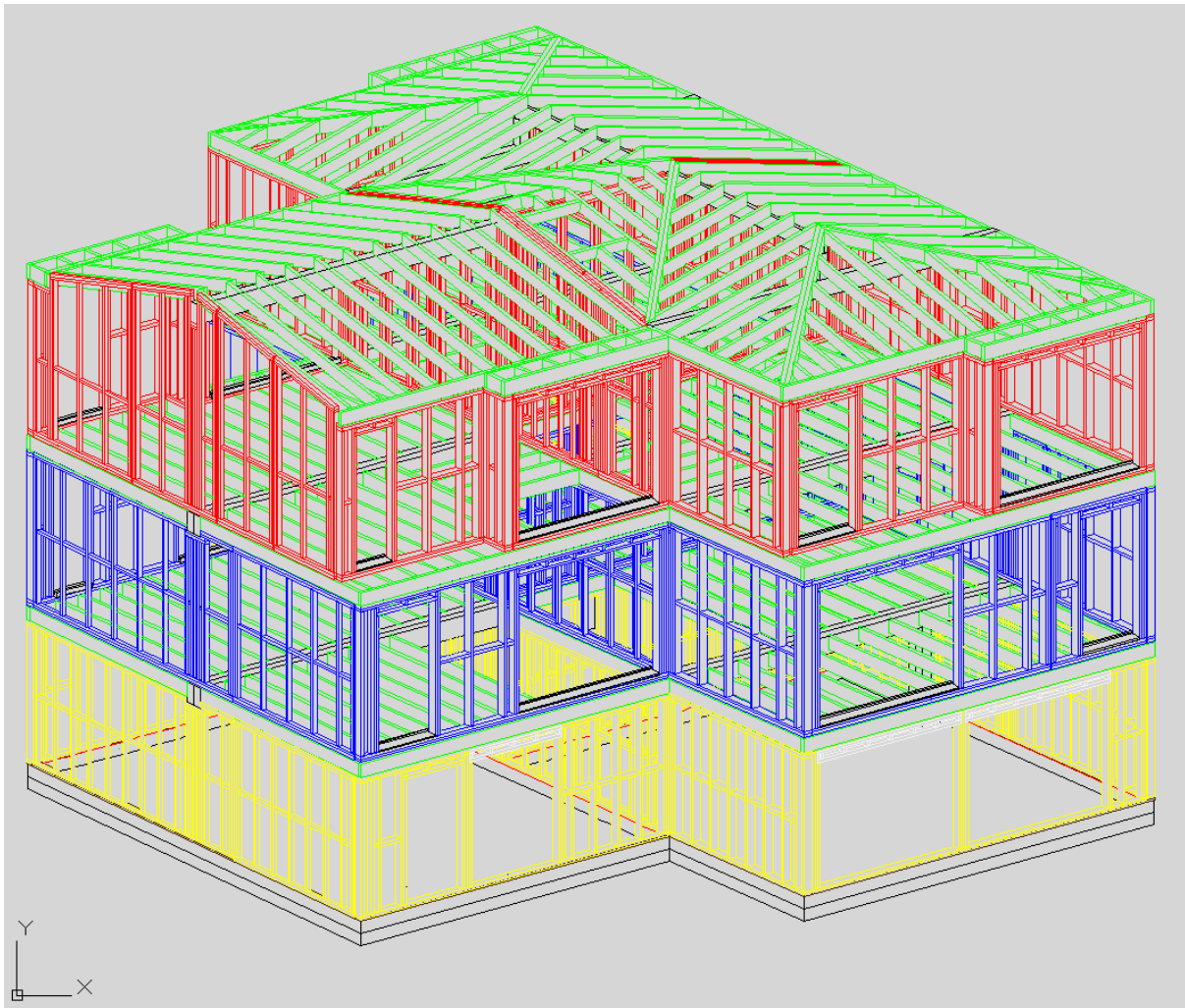
Quand t-on pense à la construction des structures à ossature bois, les premiers mots qui nous viennent à l'esprit lorsque c'est Bien être, confort de vie et respect de l'environnement sont, mais elle offre encore beaucoup d'autres avantages par rapport à une construction en béton. Ces avantages sont :

- Confort et santé. Vivre dans une maison à ossature bois procure aux occupants une impression de chaleur et de bien-être, souvent difficile à retrouver dans une construction traditionnelle.
- Une construction écologique car le bois est le seul matériau de construction issu d'une ressource naturelle renouvelable, la forêt.



NTOLLA François  
Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment

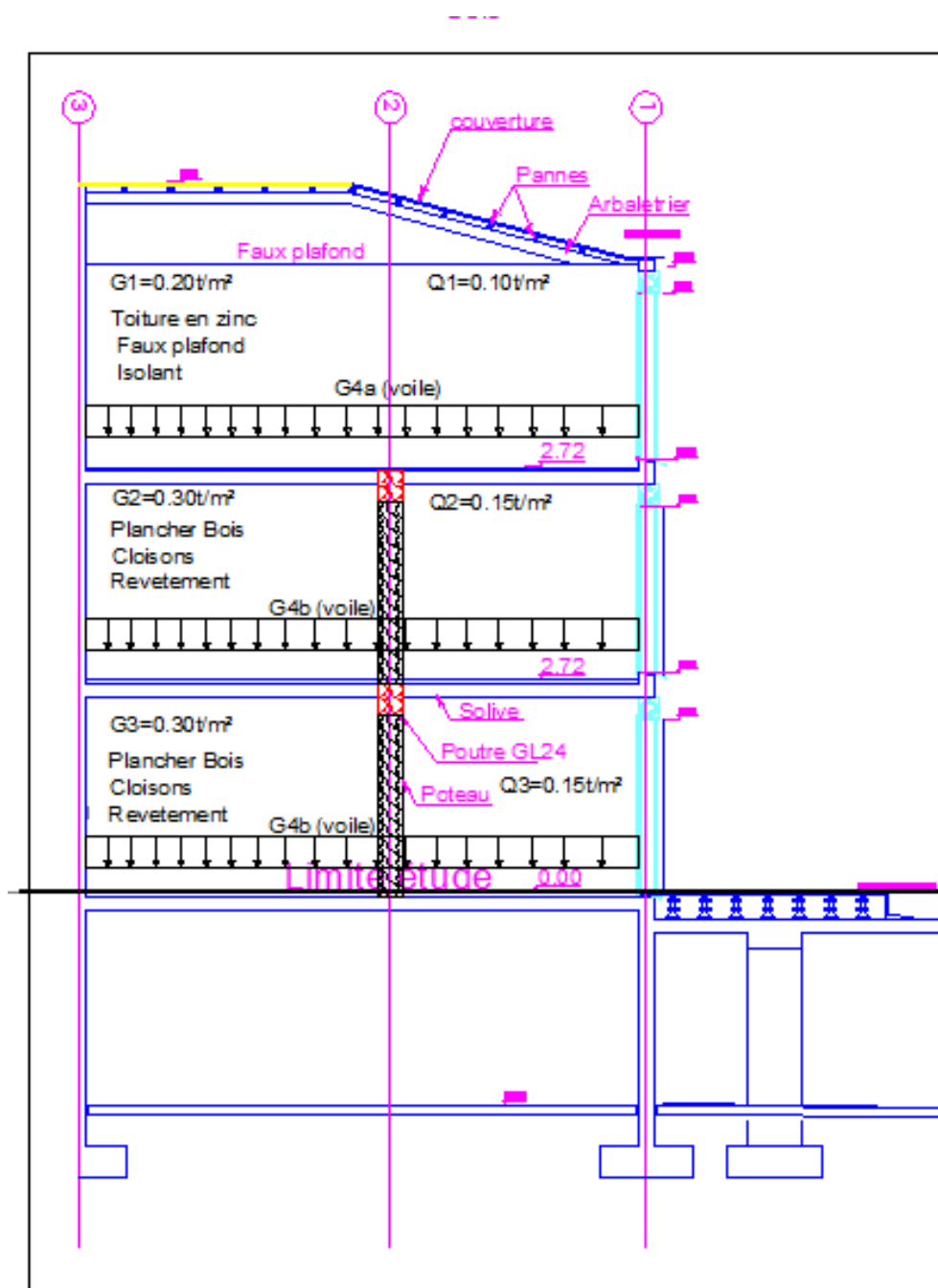
- Le bois est un excellent isolant, l'ossature bois offre une isolation thermique inégalable qui permet de réaliser jusqu'à 40 % d'économies sur la facture de chauffage annuel. De plus, les ossatures en bois permettent d'intégrer de fortes épaisseurs de matériaux isolants tout en conservant aux murs ou toitures des épaisseurs faibles
- La rapidité de construction, car toute la structure est préfabriquée en usine. . Par ailleurs, ces réalisations se faisant à sec, le chantier est propre et sans déchet.
- Performance et solidité dans le temps, par sa légèreté le bois offre un excellent rapport poids propre / résistance mécanique tout en présentant une bonne résistance aux mouvements sismiques.
- Une bonne résistance au feu, Sa teneur en eau entraîne la formation d'une croûte carbonisée qui devient isolante et freine la combustion, ce qui fait que lorsque le bois brûle, il ne se rompt pas soudainement ou n'explose pas, mais se consume lentement en gardant ses qualités mécaniques pendant de longues heures et sans dégager de gaz toxiques.



Dessin 3.2 – Perspective en 3D du projet système poteaux poutres

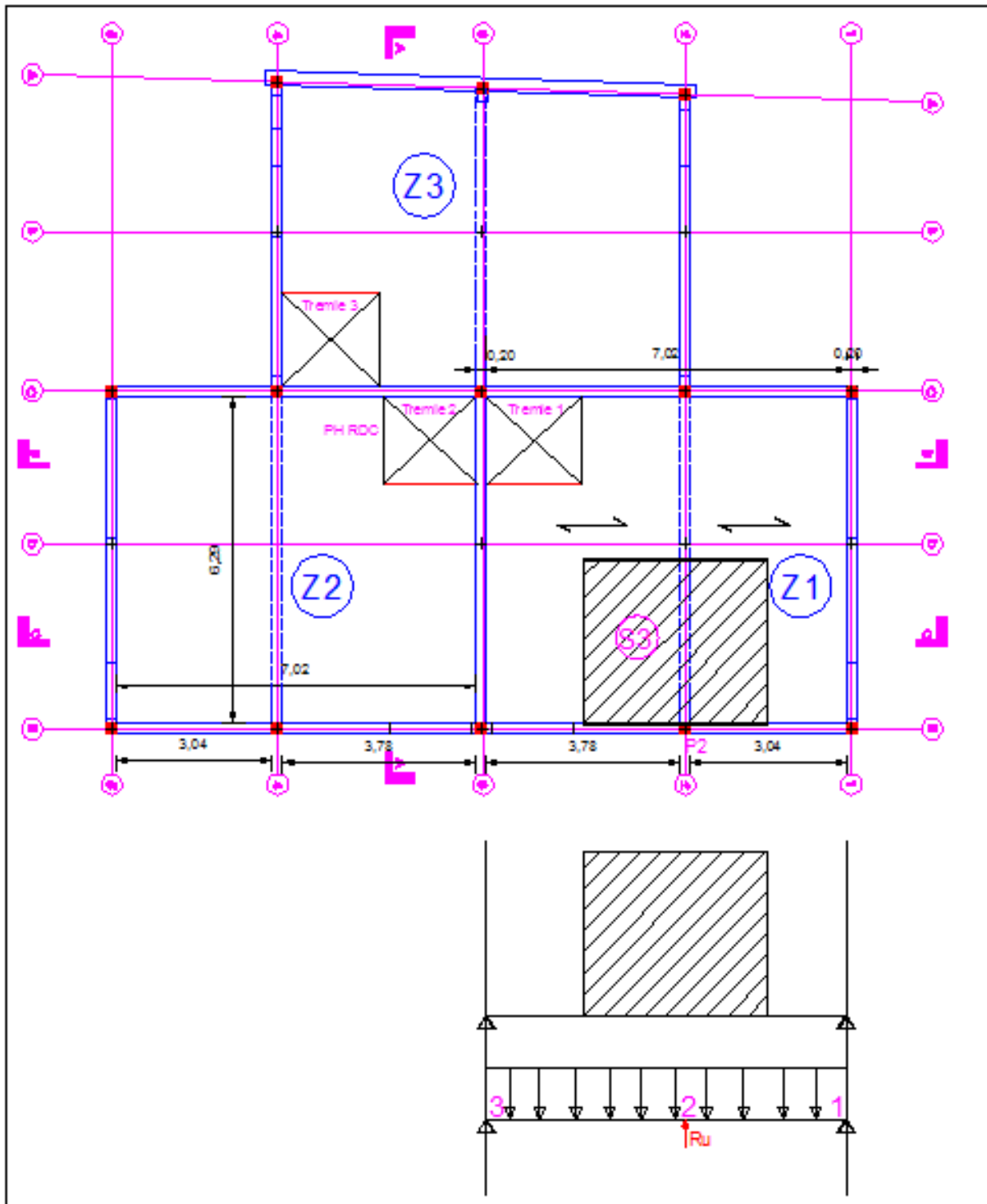
### 3.3. DESCENTE DES CHARGES DE LA STRUCTURE EN BOIS « EC5 »

Afin de pouvoir réaliser la descente des charges correctement, il faut tout d'abord connaître les différentes charges qui s'appliquent sur chaque plancher.



Dessin 3.3a – coupe type sur la zone d'étude structure en Bois (voir annexe 3)

Pour des besoins structurels, une poutre en bois est nécessaire au milieu de la dalle, le plancher porte dans un seul sens.



Dessin 3.3b – vue en plan reprise des charges sur poutre (voir annexe 3)

● **Hypothèses**

- Hauteur sous plafond  $h=2.72\text{m}$
- Panneau OSB  $e_p=12\text{mm}$  ;
- P propre du mur en bois (panneau OSB)  $\rho_4 = 600\text{kg/m}^3$   
 $G_4 = (.012 * 0.6 * 2.72) = \mathbf{0.02 \text{ t/ml/niv}}$
- Plaque ayant pour dimension :  $6.21 \times 7.02\text{m}$
- Bande d'influence du plancher  
 $S_3 = (3.78 \div 2) + (3.04 \div 2) = (1.89 + 1.52) \times 1 = \mathbf{3.41\text{m}^2/\text{ml}}$

● **Descente des charges au plancher haut du RDC**

Toiture + 2plancher + 3voiles

Poids propre des poutres inclus dans les dalles.

$$P_o = \sum (G_i + Q_i)$$

- $G_i = G_1 + G_2 + G_3 + (3 \times G_4)$   
 $= (0.2 + 0.3 + 0.3) \times S_3 + (3 \times G_4)$   
 $= (0.8 \times 3.41) + (3 \times 0.02) = 2.73 + 0.06 = 3.709 \text{ t/ml}$       $G_i = 2.79 \text{ t/ml}$
- $Q_i = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \times S_1$   
 $= (0.1 + 0.15 + 0.15) \times 3.41 = 1.364 \text{ t/ml}$       $Q_i = 1.36 \text{ t/ml}$
- $P_o = \sum (G_i + Q_i)$   
 $= 2.79 + 1.36 = 4.15 \text{ t/ml}$       $P_o = 4.15 \text{ t/ml}$
- $P_u = 1.35 G_i + 1.5 Q_i$   
 $= (1.35 \times 2.79) + (1.5 \times 1.36) = 5.806 \text{ t/ml}$       $P_u = 5.81 \text{ t/ml}$

### 3.4. CALCUL DES STRUCTURES EN BOIS «EC5»

#### 3.4.1. Dimensionnement de la poutre en flexion simple suivant l'EC5

La flexion simple concerne de nombreuses pièces, telles que les solives, toutes les poutres maîtresses et tous les autres éléments horizontaux de la structure.

Les poutres travaillent en flexion simple lorsqu'elles se déforment dans un plan et lorsqu'elles ne subissent pas simultanément d'autres sollicitations, telles que la traction ou la compression.

- **Hypothèses**

- La classe de service dépend de la température et de l'hygrométrie. Compte tenu du climat, et de l'humidité moyenne de la région Parisienne, la classe retenue est 1.
- Bois lamellé-collé GL4
- La poutre **P** reprend uniquement le plancher haut du RDC (voir coupe)
- Combinaison ELU :  $C_{max} = 1.35G + 1.5Q$
- Espacement des solives : 50cm

- **Schéma mécanique de la poutre «P» du PH RDC en bois lamellé-collé « GL24 »**

Le plancher de la zone d'étude ayant pour dimensions : 6.50 x 7.02m, pour des besoins structurels, nous avons proposé à la maîtrise d'œuvre la création d'une poutre en bois lamellé-collé au milieu de chaque plaque sur les zones (Z1 – Z2 – Z3) pour reprendre les solives supportant des planchers hauts de chaque étage sur les files : 2-3-4.

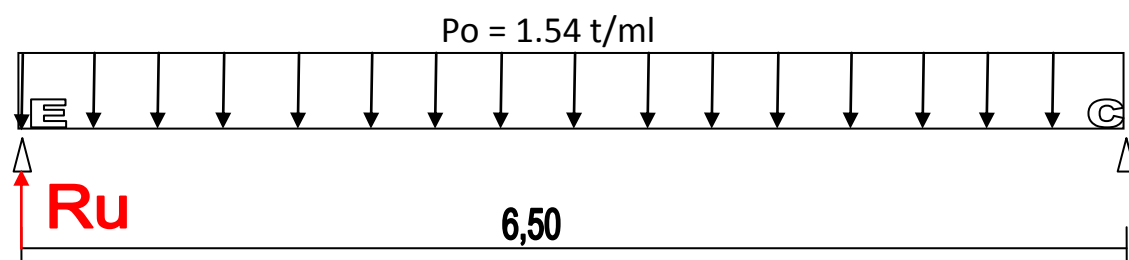
- **Calcul de la charge de reprise**

- $P_o = (0.3+0.15)*S_3$   
 $= (0.3*3.41)+(0.15*3.41)$   
 $= 1.023 + 0.5115 = 1.534 \text{ t/ml}$

$$P_o = 1.54 \text{ t/ml}$$

- Calcul de **Pu** à l'ELU  
 $P_u = (1.35*1.023)+(1.5*0.512) = 2.149 \text{ t/ml}$

$$P_u = 2.15 \text{ t/ml}$$



- Calcul de la réaction **Ru**

$$R_u = \frac{(P_u \cdot l)}{2}$$

$$(2.15 \times 6.50) \div 2 = 6.987 \text{ t}$$

$$\boxed{R_u = 7.0 \text{ t}}$$

- **Calcul de la contrainte de flexion induite par la combinaison d'action des ELU**

$\sigma_{m,d}$  : Contrainte de flexion

$M_{f,y}$  : Moment de flexion, pour une poutre sur deux appuis avec une charge

« **Pu** » charge uniformément répartie, et une portée « **L** »

$$M_{f,y} = \frac{P_u \cdot l^2}{8}$$

$I_{G,y}/V$  : module d'inertie,  $bh^2/6$  pour une section rectangulaire

- Le moment de flexion (ELU)

$$M_{f,y} = \frac{(2.15 \times 6.5^2)}{8} = 11.355 \text{ t/m}$$

$$\boxed{M_{f,y} = 0.1136 \text{ MN.m}}$$

- La contrainte de flexion  $\sigma_{m,d}$  est de :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{f,y}}{I_{G,y}/V}$$

$$= (0.1136 \times 6) \div bh^2 = 68.16 \div bh^2$$

$$\boxed{\sigma_{m,d} = 0.682 \text{ MN/bh}^2}$$

« **bh** » inconnues, on calcul la résistance de flexion «  $f_{m,d}$  »

Donc bh à dimensionnés

- **Calcul de la résistance de flexion  $f_{m,d}$**

$$f_{m,d} = [f_{m,k} \times \left(\frac{k_{mod}}{\gamma_M}\right)] \times k_{sys} \times k_h$$

$f_{m,k}$  : contrainte caractéristique de la résistance en flexion en MPa

$k_{mod}$  : coefficient modificateur en fonction de la charge de plus courte durée

et de la classe de service. Ici , retient l'action à moyen terme  $k_{mod}=0.8$

$\gamma_m$  : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

$k_{sys}$  : coefficient d'effet système est égal à «**1**» par sécurité

$k_h$  : coefficient de la hauteur est égale à «**1**» lorsque la hauteur de la poutre est supérieur à 150mm

$K_m = 0.7$  pour une section rectangulaire.

$K_m = 1$  pour les autres sections.

- $f_{m,d} = [24 \times \left(\frac{0.8}{1.3}\right)] \times 1 \times 1 = 14.77 \text{ MPa}$

$$\boxed{f_{m,d} = 14.77 \text{ MN/m}^2}$$

$k_{sys}$  : coefficient d'effet système est égal à «1.1». Il apparait lorsque plusieurs éléments porteurs de même nature et de même fonction (poutres-solives) sont sollicités par le même type de chargement réparti uniformément

➤  $\sigma_{m,d} = f_{m,d} = [f_{m,k} \times (\frac{k_{mod}}{\gamma_M})] \times k_{sys} \times k_h$

➤  $f_{m,d} = [24 \times (\frac{0.8}{1.3})] \times 1.1 \times 1 = 16.246 \text{ MPa}$

**$f_{m,d} = 16.25 \text{ MPa}$**

- on calcul les valeurs de b et h

$(0.68 \div bh^2) = 14.77$

➤  $Bh^2 = 0.68 \div 14.77 = 0.046039 \text{ m}^3 = 46039 \text{ cm}^3$

Si b = 20 cm

**b = 200 mm**

➤  $h^2 = (46039 \div 20) = 4603.9 \text{ cm}^2$

$h = \sqrt{4604} = 67.8 \text{ cm}$  on arrondi

**h = 680 mm**

- Le module d'inertie « I/V »

➤  $I/V = bh^2 \div 6 = (20 \times 68^2) \div 6 = 15413.33 \text{ cm}^3$

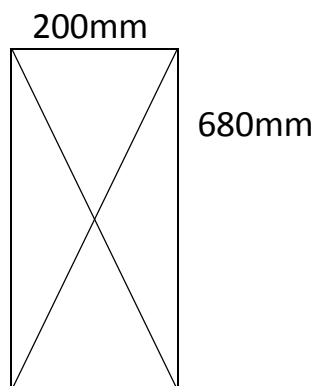
**I/V = 15443.33 cm<sup>3</sup>**

On connaît « bh » et « I/V », la contrainte de flexion induite est de

➤  $\sigma_{m,d} = (11.35 \times 10^{-2}) \div (15413.33 \times 10^{-6})$   
= 7.36 MPa

**$\sigma_{m,d} = 7.36 \text{ MPa}$**

- Coupe type de la poutre en bois massif de 200×680



### 3.4.2. Vérification la condition d'instabilité

**Hypothèse :**

- Le rapport largeur de la poutre/ la portée de la solive (200/6500 = 2/65).
- La fixation du panneau OSB et le blocage de l'ensemble du plancher permettent d'empêcher le déversement des solives.
- $K_{crit}$  est le facteur qui tient compte de la réduction de résistance due au déversement, peut être pris égal à « 1 »

• **Vérifions la contrainte de flexion aux ELU d'une solive de plancher**

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{m,d}}{(K_{crit} \times f_{m,d})} \leq 1 = 7.36 \div (1 \times 16.25) \leq 1 \quad \boxed{0.45 < 1}$$

$$\sigma_{m,d} \leq K_{crit} \times f_{m,d} \quad 1 \times 7.36 = 7.36 \quad \boxed{7.36 \leq 16.25} \quad (6.33)$$

En flexion, les équations suivantes doivent être satisfaites :

NF EN 1995-1-1 (6.11)

➤  $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad 7.36 \div 14.77 \leq 1 \quad \boxed{0.50 \leq 1} \text{ ok}$

NF EN 1995-1-1 (6.11)

➤  $K_m \times \left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right) \leq 1 \quad 1 \times (7.36 \div 14.77) \leq 1 \quad \boxed{0.50 \leq 1} \text{ ok}$

Matériau	Norme	Classe De service	Classe de durée de chargement				Action instantanée
			Action permanente	Action long terme	Action moyen terme	Action Court terme	
Bois massif	EN 14081-1	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90

*Tableau 3.4.2a- Valeur de kmod*

Etats limites ultime		
Combinaisons fondamentales		
Matériau		
	Bois	1.3
	Lamellé collé	1.25
	Lamibois (LVL)	1.2
Assemblage		1.3
Combinaisons accidentelles		1.0
Etats limites de service		1.0

*Tableau 3.4.2c - Valeurs du YM en fonction de la dispersion du matériau*



**NTOLLA François**  
**Mémoire d'ingénieur spécialité Bâtiment**

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction	N/mm <sup>2</sup>	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm <sup>2</sup>	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	2.0	2.2	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	N/mm <sup>2</sup>	7	8	9	10	11	11.5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentage	N/mm <sup>2</sup>	4.7	5.4	6.0	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	N/mm <sup>2</sup>	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47
$G_{,mean}$	Module de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	0.44	0.50	0.56	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88
$\rho_k$	Masse volumique carac	kg/m <sup>3</sup>	290	310	320	340	350	370	380	400	420

*Tableau 3.4.2b – Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux*

### 3.4.3. Vérification des déformations (ELS)

Il faut vérifier que la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure reste inférieur ou égale à la flèche limite  $W_{vert}$  ou  $W_{horiz}$  limite

Les conditions à vérifier sont :

- $W_{instantanée} (Q) \leq L/300$  à  $L/500$
- $W_{finale} \leq L/150$  à  $L/300$
- $W_{net\ finale} \leq L/250$  à  $L/350$

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst}(Q)$	$W_{net\ final}$	$W_{fin}$	$W_{inst}(Q)$	$W_{net\ final}$	$W_{fin}$
<b>Chevrans</b>	-	L/150	L/125	-	L/150	L/100
<b>Éléments structuraux</b>	L/300 à L/500	L/250 à L/350	L/150 à L/300	L/200	L/150	L/100

*Tableau 3.4.3a – Valeurs limites pour les flèches de poutres en bois ... (7.2)*

- **Calcul de la flèche instantanée  $w_{inst}(Q)$  : flèche due aux actions variables seules**

La flèche instantanée est calculée avec la combinaison ELS

$$q_{inst}(Q) = Q \quad \boxed{q_{inst}(Q) = 0.526 \text{ t/ml}}$$

La poutre a une charge symétrique et uniforme, la flèche est définie par :

$$w_{inst}(Q) = \frac{5 \times q_{inst}(Q) \times (L)^4}{384 \times E_{0,mean} \times I}$$

W: flèche en mm

$q_{inst}(Q)$  : charge linéique en N/mm provoquée par les actions variables.

L : distance entre appuis en mm.

$E_{0,mean}$  : module moyen axial en MPa,  $E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$

I : moment quadratique en  $\text{cm}^4$ , pour une section rectangulaire

- L'inertie  $I = bh^3 \div 12 = (20 \times 68^3) \div 12 = 524053.33 \text{ cm}^4$   $\boxed{I = 524053.33 \text{ cm}^4}$
- $w_{inst}(Q) = [5 \times 0.526 \times 6.50^4 \times 10^6] \div [384 \times 11000 \times 524053.33] = 2.12 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\boxed{w_{inst}(Q) = 2.12 \text{ mm}}$$

$$L/300 = 6500 \div 300 = 21.67 \text{ mm}$$

$$\boxed{2.12 \leq 21.67}$$

$$\boxed{w_{inst}(Q) \leq L/300}$$

- **Calcul de la flèche instantanée  $w_{inst}$  avec l'ensemble des charges**

La flèche instantanée est calculée avec la combinaison

$$q_{inst} = G + Q$$

$$q_{inst} = 1.053 + 0.512 = 1.6 \text{ t/ml}$$

La poutre a une charge symétrique et uniforme, la flèche est définie par :

$$w_{inst} = \frac{5 \times q_{inst} \times (L)^4}{384 \times E_{0,mean} \times I} = (5 \times 1.6 \times 6.50^4 \times 10^6) \div (384 \times 11000 \times 524053.33) = 0.00645 \text{ m}$$

$$\boxed{w_{inst} = 6.5 \text{ mm}}$$

$$6.5 \leq 21 \quad \boxed{w_{inst} \leq L/300} \text{ ok}$$

- **Calcul de la flèche différée  $w_{creep}$  et la flèche finale  $w_{net,fin}$**

La flèche différée est calculée avec la combinaison ELS (DIFF)

$$q_{diff} = k_{def} \times (G + \Psi_2 Q) \quad \text{avec :}$$

$k_{def}$  : coefficient de fluage de 0.6 (bois et local chauffé)

$\Psi_2$  : coefficient de simultanéité 0.3 (charge d'exploitation dans un local d'habitation).

➤  $q_{diff} = 0.6 \times (1.053 + 0.3 \times 0.526) = 0.726 \text{ t/ml}$        $q_{diff} = 0.73 \text{ t/ml}$

La poutre a une charge symétrique et uniforme, la flèche est définie par :

$$w_{creep} = (5 \times q_{diff} \times L^4) \div (384 \times E_{0,mean} \times I)$$

➤  $w_{creep} = [5 \times 0.73 \times 6.50^4 \times 10^6] \div [384 \times 11000 \times 524053.33] = 0.00295 \text{ m}$

$$w_{creep} = 3 \text{ mm}$$

➤  $w_{net,fin} = w_{creep} + w_{inst} + w_c$   
 $w_c$  est la contre flèche (7.2)

➤  $w_{fin} = w_{creep} + w_{inst} = 6.5 + 3.00 = 9.5 \text{ mm}$        $w_{fin} = 9.5 \text{ mm}$

- **Justification**

$$w_{inst} \leq L/300 \quad 6500 \div 300 = 21.66 \quad \boxed{6.5 \leq 21.66} \text{ ok}$$

$$w_{net finale} \leq L/250 \quad 6500 \div 250 = 26$$

$$w_{net,fin} = w_{creep} + w_{inst} \quad 6.5 + 3.00 = 17.09 \quad \boxed{6.5 \leq 26} \text{ ok}$$

$$w_{fin} \leq L/150 \quad 6500 \div 150 = 43.33 \quad \boxed{9.5 \leq 43.33} \text{ ok}$$

### 3.4.4. Vérification des contraintes de cisaillement des poutres (ELU)

Le cisaillement est une sollicitation rencontrée dans les poutres travaillant en flexion, notamment au droit des appuis, sous des charges ponctuelles, dans les forces situées de part et d'autre d'un plan. Il tend à provoqué un déplacement entre les deux parties de la pièce selon ce plan de glissement. Naturellement, compte tenu de l'anisotropie du bois, les plans de rupture sont parallèles au fil du bois.

#### Poutre

- Bois lamellé-collé de 200\*680 classé GL24
- Portée 6.50m
- Classe de service 1
- Combinaison ELU :  $C_{max} = 1.35G + 1.5Q = P_u$   
Avec  $G=1.23$  et  $Q= 0.512$

$$P_u = 1.35 \times 1.023 + 1.5 \times 0.512 = 2.15 \text{ t/ml}$$

$$P_u = 2.15 \text{ t/ml}$$

- **Calcul des contraintes de cisaillement induite par la combinaison d'action des ELU**

$$\tau_d = [k_f \times F_{vd}] \div [b_{ef} \times h_{ef}]$$

$k_f$  : Coefficient de forme ( $3/2 = 1.5$ )

$h_{ef}$  : hauteur réelle exposée au cisaillement

$b_{ef}$  : épaisseur de la pièce efficace

avec  $b_{ef} = k_{cr} \times b$  (lorsque la pièce travail en flexion)

$b$  : épaisseur de la pièce

$k_{cr} = 0.67$  pour le bois massif et le lamellé collé et  $k_{cr} = 1$  sinon

$F_{vd}$  : effort tranchant  $F_{vd} = (P_u \times l) \div 2 = 2.15 \times 6.5 \div 2 = 7.0 \text{ t}$

- $\tau_d = [1.5 \times 7.0 \times 10^{-2}] \div [0.67 \times 0.2 \times 0.68] = 1.15$

$$\tau_d = 1.15 \text{ MPa}$$

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{k_v \times f_{v,d}} \quad \text{Avec} \quad f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times k_{mod}}{\gamma_M}$$

- **Calcul de la résistance de cisaillement «  $f_{v,d}$  »**

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$  : contrainte caractéristique de résistance de cisaillement en «  $f_{v,k} = 2.5 \text{ N/mm}^2$  »

$k_v$  : coefficient d'entaillage égal à 1 car il n y a pas d'entaille.

- $f_{v,d} = [2.5 \times 0.80] \div 1.3 = 1.538 \text{ MPa}$

$$f_{v,d} = 1.54 \text{ MPa}$$

- **Justification**

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{k_v \times f_{v,d}}$$

- Taux de travail =  $1.15 \div 1.54 = 0.75 = 75\%$

$$0.75 \leq 1 \quad \text{ok}$$

### 3.4.5. Dimensionnement d'un poteau compression axiale

Les éléments sollicités en compression axiale sont les poteaux, les montants de la maison à ossature bois, les éléments de contreventement.

- **Hypothèses de calcul du poteau**

Descente des charges sur le poteau de rive en bois avec ( $S3 = 3.41m^2$ ) :

- Réaction de la poutre de 6.5 m :

$$[0.45 \times 3.41] \times [6.5 \div 2] = 4.99 \text{ t}$$

- Réaction du Poids propre de la poutre :

$$[0.2 \times 0.68 \times 0.6] \times [6.5 \div 2] = 0.27 \text{ t}$$

- Réaction des poutres de rives :

$$[0.2 \times 0.68 \times 0.6] \times 3.41 = 0.28 \text{ t}$$

$$R1 = (4.99 + 0.27 + 0.28) = 5.54 \text{ t}$$

- Réaction de 2 niveaux :

$$R1 \times 2 = (2 \times 5.63) = \mathbf{11.26 \text{ t}}$$

- Réaction de la toiture :

$$[3m^2/ml \times 0.3 \text{ t}/m^2] \times 3.41 = \mathbf{3.07 \text{ t}}$$

- Réaction du poids des murs sur 2 niveaux (nous considérons que les voiles avec ouvertures pèsent 85% de leurs poids réel soit :

$$[0.85 \times 0.2 \times 0.6 \times 2.72 \text{ t}/ml \times 2] \times [(3.78 + 3.04)/2] = \mathbf{1.89 \text{ t}}$$

- Poids propre des poteaux sur 2 niveaux :

$$[2 * 0.2 * 0.4 * 0.6 * 2.72] = \mathbf{0.261 \text{ t}}$$

Au final, la réaction en tête du poteau est de

$$R_0 = (11.26 + 3.07 + 1.89 + 0.261) = \mathbf{16.30 \text{ t}} \text{ (ELS)}$$

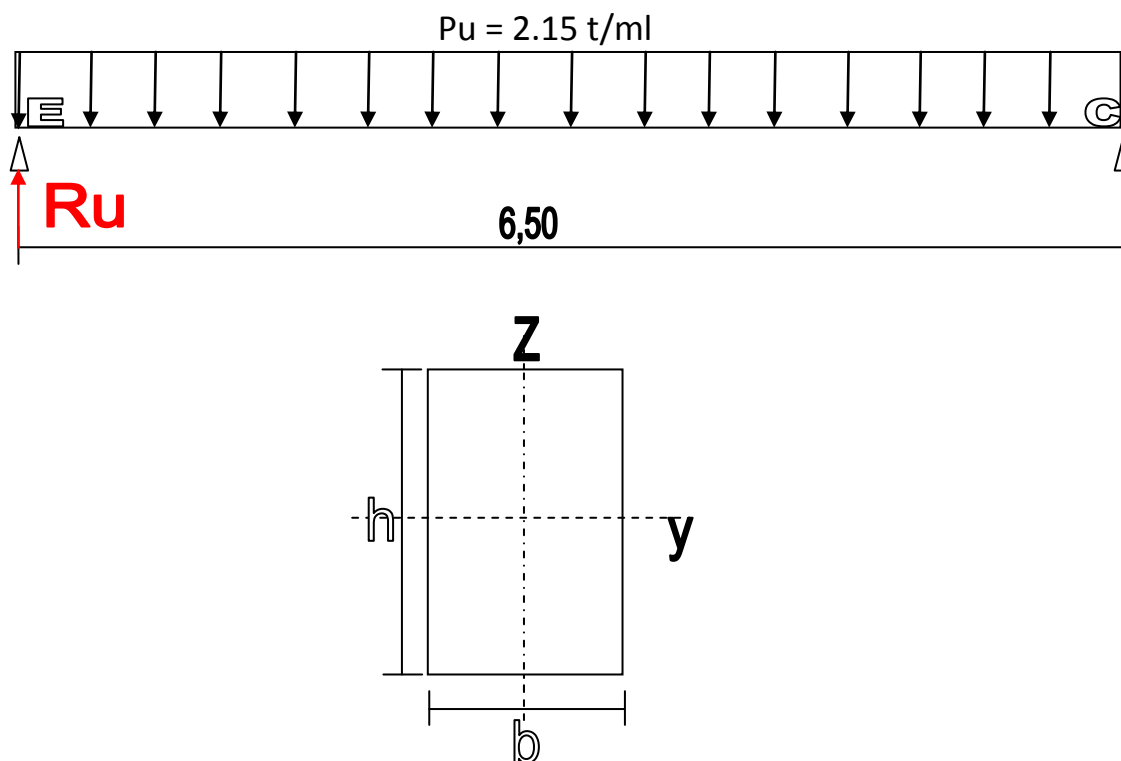
$$\rightarrow Q = \sqrt{0.5 \times 16.30} = 2.85$$

$$\rightarrow G = 16.30 - Q = 2.85$$

soit

$$\boxed{R_0 = G_0 + Q_0 = (13.45 + 2.85) \text{ t}}$$

- Poteau de 200\*400
- Résineux classé C18
- Classe de service : classe 1
- Lfy : longueur de flambement suivant y (petite inertie) = 2.72m
- Lfz : longueur de flambement suivant z (grande inertie) = 2.72m



- **Vérification Elancement**

L'Elancement le plus important se calcul par rapport à l'axe z, car il sera l'axe de rotation si le poteau flambe.

$$\lambda_{rel} = [m \times l_g \times \left(\frac{\sqrt{12}}{b \times \pi}\right)] \times \left[\left(\frac{\sqrt{f_{c,0,k}}}{E_{0,05}}\right)\right]$$

$\lambda_{rel}$  : élancement relative

$f_{c,0,k}$  : contrainte caractéristique de résistance en compression axiale est égale

**18 N/mm<sup>2</sup>** (suivant tableau 19)

$E_{0,05}$  : module axial au 5<sup>e</sup> pourcentage est égal à **6.0 N/mm<sup>2</sup>**

$l_g$  : longueur de la barre 2,72 m =2720mm

$m$  : coefficient permettant de tenir compte de l'incidence des liaisons aux extrémités de la barre sur la longueur de flambement  
( $m=1$  car articulé aux deux extrémités)

**Elancement par rapport à l'axe z**

$$\lambda_{rel z} = \left[ \frac{(1 \times 2720 \times \sqrt{12})}{(400 \times 3.14)} \right] \times \left[ \frac{\sqrt{18}}{6000} \right] = 0.410 \quad \boxed{\lambda_{rel z} = 0.41} \quad (6.22)$$

**Elancement par rapport à l'axe y**

$$\lambda_{rel y} = \left[ \frac{(1 \times 2720 \times \sqrt{12})}{(200 \times 3.14)} \right] \times \left[ \frac{\sqrt{18}}{6000} \right] = 0.0141 \quad \boxed{\lambda_{rel y} = 0.011} \quad (6.21)$$

Donc il y a risque de flambage car

$$\lambda_{rel,max} \geq 0.3$$

- **Calcul du coefficient  $k_{c,z}$  réducteur de la résistance du bois**

$$k_{c,z} = \frac{1}{[kz + (\sqrt{k^2z - \lambda^2_{rel,max}})]} \quad (\text{issue de 6.25 et 6.26})$$

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda^2_{rel}] \quad (\text{issue de 6.27 et 6.28})$$

$$\beta_c = 0.2 \text{ pour le bois massif} \quad (\text{issue de 6.29})$$

$$\text{➤ } k_z = 0.5 \times [1 + 0.2 \times (0.41 - 0.3) + 0.41^2] = 0.595$$

$$\text{➤ } k_y = 0.5 \times [1 + 0.2 \times (0.41 - 0.3) + 0.41^2] = 0.595$$

$$\text{➤ } k_{c,z} = \frac{1}{[0.595 + (\sqrt{0.595^2 - 0.41^2})]} = 0.974 \quad \boxed{k_{c,z} = 0.97}$$

$$\text{➤ } k_{c,y} = \frac{1}{[0.595 + (\sqrt{0.595^2 - 0.014^2})]} = 0.840 \quad \boxed{k_{c,y} = 0.84}$$

- **Calcul de la contrainte de compression axiale «  $\sigma_{c,o,d}$  » induite par la charge**

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N}{S} \text{ avec } N \text{ à (ELU)} = (1.35 \times 13.74) + (1.5 \times 3) = 23.05t = 230.5kN = 230500N$$

$$\text{➤ } \sigma_{c,o,d} = \frac{230500}{(200 \times 400)} = 2.79 \text{ MPa} \quad \boxed{\sigma_{c,o,d} = 2.80 \text{ MPa}}$$

- **Calcul de la contrainte de résistance en traction axiale «  $f_{c,o,d}$  »**

$$f_{c,o,d} = f_{c,o,k} \times \left(\frac{k_{mod}}{Y_M}\right) \text{ avec } f_{c,o,k} = 18 \text{ N/mm}$$

$$\text{➤ } f_{c,o,d} = 18 \times \left(\frac{0.8}{1.3}\right) = 11.076 \text{ MPa} \quad \boxed{f_{c,o,d} = 11.08 \text{ MPa}}$$

- **Justification**

(Issue de 6.23 - 6.24)

$$\text{➤ Taux de travail} = \frac{\sigma_{c,o,d}}{(k_{c,z} \times f_{c,o,d})}$$

$$\text{Taux de travail} = \frac{2.80}{(0.97 \times 11.08)} = 0.26$$

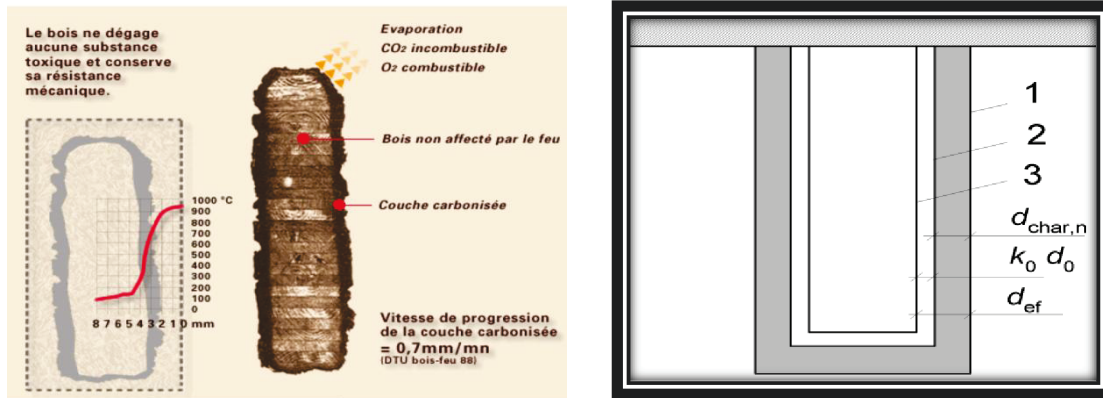
$$\boxed{0.30 \leq 1}$$

### 3.4.6. Justification des structures au feu

- **Calcul de la section résiduelle**

Le calcul de la section résiduelle après 60 minutes d'exposition au feu d'une poutre en bois lamellé-collé classée GL 24h de 200\*680. Un plancher protège la face supérieure de la poutre.

Schéma 3.4.6a - calcul de la section réduite



**Clé**

- 1 : Surface initiale de l'élément
- 2 : Limite de la section résiduelle
- 3 : Limite de la section efficace

- section : 200\*680mm
- Exposition au feu : 60 minutes
- Face supérieur non-exposée (car protégée par le plancher)

$$A_{fi} = (h_{init} - 2d_{ef}) \times (b_{init} - 2d_{ef}) \quad \text{Avec :}$$

$d_{ef}$  : épaisseur de carbonisation efficace :  $d_{ef} = d_{char,n} + (k_0 \times d_0)$

$\beta_n = 0.7$  mm/minute

$k_0 = 1$  car la tenue au feu requise est supérieure à 20min

$d_{char,n} = \beta_n \times t$  lorsque la surface n'est pas protégée ( $0.7 \times 60$ ) = 42mm

$d_0$  : épaisseur de carbonisation à la flamme, soit 7mm

- $d_{ef} = (60 \times 0.7) + (1 \times 7) = 49$  mm

- $A_{fi} = (680 - 2 \times 49) \times (200 - 49) = 87882$  mm<sup>2</sup>

**$A_{fi} = 878.82$  cm<sup>2</sup>**

La section carbonisée est de  $(1360 - 879) = 481$  cm<sup>2</sup>

La section résiduelle est de :  $(140 \times 630)$

Faces non protégées et faces protégées avec $t_{ch} < 20$ min	$t_{fi,req} < 20$ min	$K_0 = t_{fi,req} / 20$
	$t_{fi,req} > 20$ min	$K_0 = 1$
Faces protégées avec $t_{ch} > 20$ min	$t_{fi,req} < t_{ch}$	$K_0 = t_{fi,req} / t_{ch}$
	$t_{fi,req} > t_{ch}$	<b><math>K_0 = 1</math></b>

Tableau 3.4.6c - détermination de  $k_0$



Matériau	$\rho_k$	$\beta_n$ ou $\beta_o$ pour les panneaux (mm / min)
Bois résineux et hêtre massif a 35mm	290 kg/m <sup>3</sup>	0.8
Bois résineux lamellé-collé	290 kg/m <sup>3</sup>	1.7
Bois feuillu massif ou lamellé-collé	290 kg/m <sup>3</sup>	0.7
Bois feuillu massif ou lamellé-collé	450 kg/m <sup>3</sup>	0.55
LVL	480 kg/m <sup>3</sup>	0.7
Contre plaqué (hp : ep de 20mm)	450 kg/m <sup>3</sup>	1.0
Panneaux à base de bois (hp : ep de 20mm)	450 kg/m <sup>3</sup>	0.9

*Tableau 3.4.6b – Vitesse de carbonisation conventionnelle*

### 3.4.6.1 Vérification au feu de la section résiduelle

- **Le module d'inertie « I/V**

$$I/V = bh^2 \div 6 = (14 \times 63^2) \div 6 = 9261 \text{ cm}^3$$

➤  $\sigma_{m,d} = (11.35 \times 10^{-2}) \div (9261 \times 10^{-6}) = 12.26 \text{ MPa}$

- **Vérifions la contrainte de flexion aux ELU d'une solive de plancher**

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{m,d}}{(K_{crit} \times f_{m,d})} \leq 1 = 12.26 \div (1 \times 16.25) \leq 1 \quad 0.75 < 1$$

$$\sigma_{m,d} \leq K_{crit} \times f_{m,d} \quad 12.26 \times 1 = 12.26 \leq 16.25$$

➤  $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad 12.26 \div 14.77 \leq 1 \quad 0.83 \leq 1 \text{ ok}$

➤  $K_m \times \left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right) \leq 1 \quad 1 \times (12.26 \div 14.77) \leq 1 \quad 0.83 \leq 1 \text{ ok}$

- **Calcul de la flèche instantanée  $w_{inst}(Q)$  : flèche due aux actions variables seules**

➤  $w_{inst}(Q) = 3.80 \text{ mm}$

$$L/300 = 6500 \div 300 = 21.67 \text{ mm} \quad 3.80 \leq 21.67 \quad w_{inst}(Q) \leq L/300$$

- **Calcul de la flèche instantanée  $w_{inst}$  avec l'ensemble des charges**

➤  $w_{inst}(G+Q) = 11.11 \text{ mm}$

$$L/300 = 6500 \div 300 = 21.67 \text{ mm} \quad 11.11 \leq 21.67 \quad w_{inst}(Q) \leq L/300$$

- **Calcul de la flèche différée  $w_{creep}$  et la flèche finale  $w_{net,fin}$**

➤  $w_{creep} = [5 \times 0.73 \times 6.50^4 \times 10^6] \div [384 \times 11000 \times 291722] = 0.00514 \text{ m}$

$$w_{creep} = 5.14 \text{ mm}$$

➤  $W_{net,fin} = W_{creep} + W_{inst} \quad 11.11+5.14 = 16.25 \text{ mm}$

• **Justification**

$W_{inst} \leq L/300 \quad 6500 \div 300 = 21.66 \quad \boxed{11.11 \leq 21.66} \text{ ok}$

$W_{net\ finale} \leq L/250 \quad 6500 \div 250 = 26$

$W_{net,fin} = W_{creep} + W_{inst} \quad 11.11+5.14 = 16.25 \quad \boxed{11.11 \leq 26} \text{ ok}$

$W_{fin} \leq L/150 \quad 6500 \div 150 = 43.33 \quad \boxed{16.25 \leq 43.33} \text{ ok}$

• **Calcul des contraintes de cisaillement induite par la combinaison d'action des ELU**

➤  $\tau_d = [1.5 \times 7.0 \cdot 10^{-2}] \div [0.67 \times 0.2 \times 0.68] = 1.15 \text{ MPa}$

Taux de travail =  $\frac{\tau_d}{k_v \times f_{v,d}}$  Avec  $f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times k_{mod}}{Y_M}$

• **Calcul de la résistance de cisaillement «  $f_{v,d}$  »**

➤  $f_{v,d} = [2.5 \times 0.80] \div 1.3 = 1.538 \text{ MPa} \quad \boxed{f_{v,d} = 1.54 \text{ MPa}}$

• **Justification**

Taux de travail =  $\frac{\tau_d}{k_v \times f_{v,d}}$

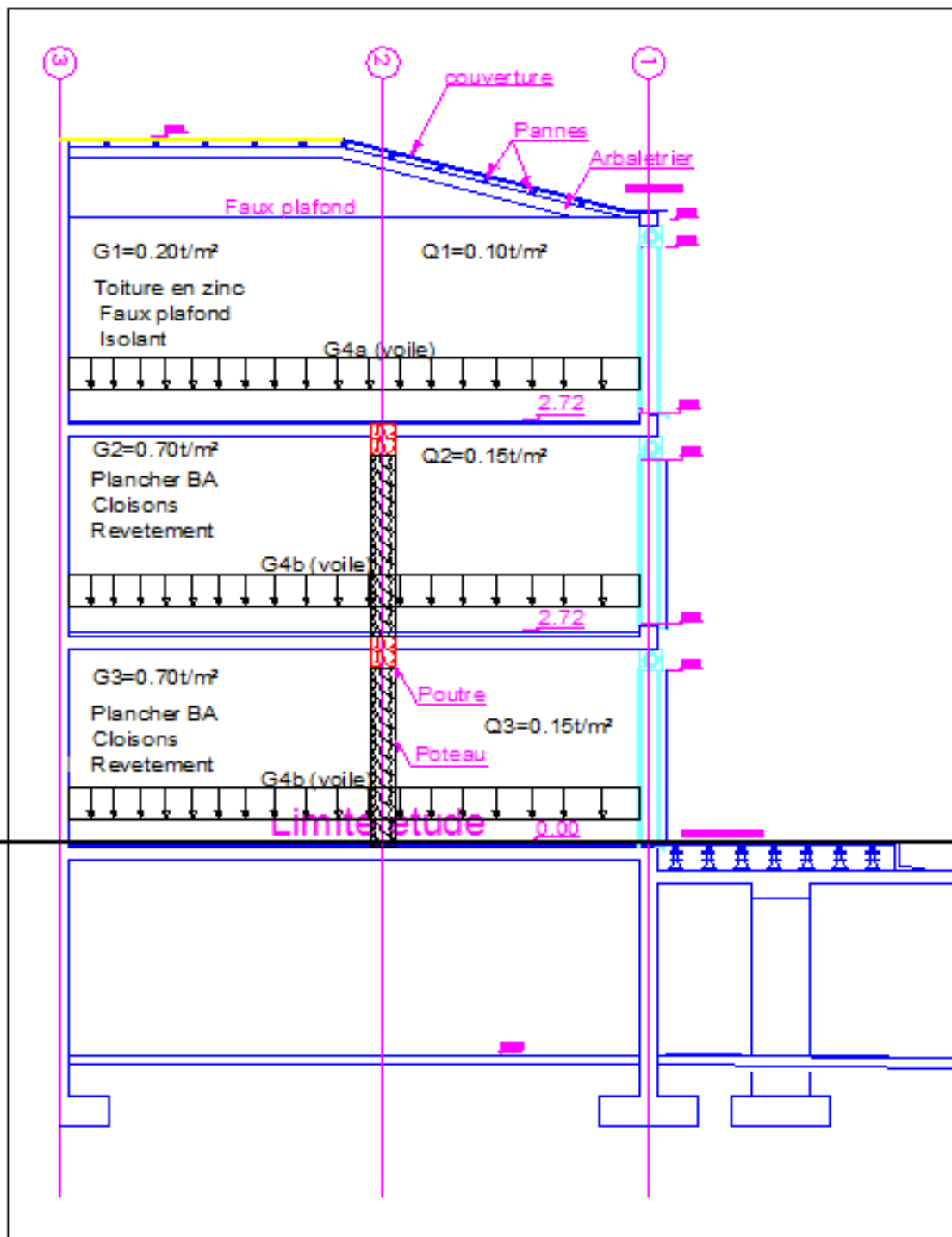
➤ Taux de travail =  $1.15 \div 1.54 = 0.747 \quad \boxed{0.75 \leq 1} \text{ ok}$

**Conclusion**

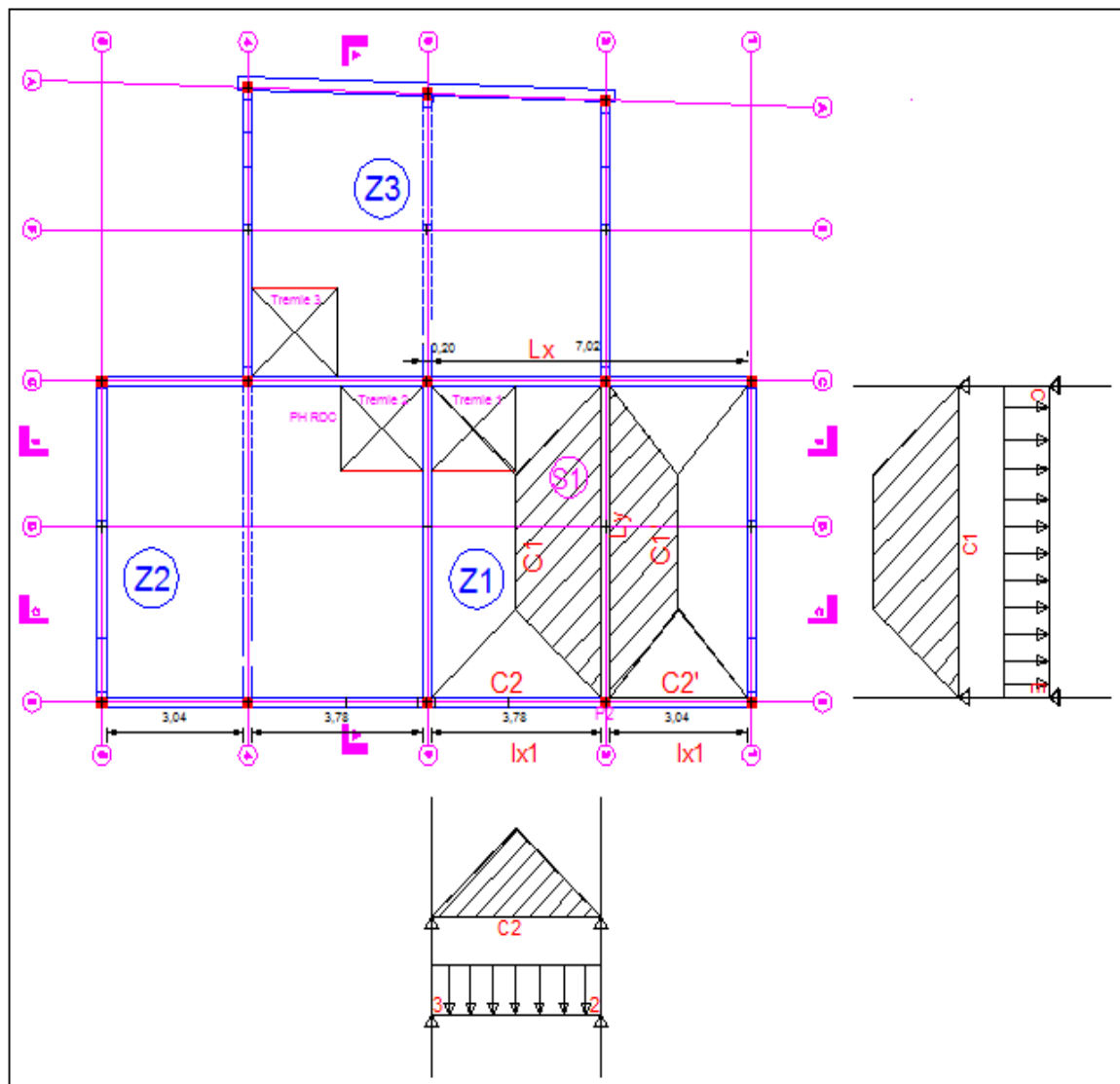
Pour une charge  $P_0$  de 1.54t/ml une poutre en bois lamellé-collé de 200\*680mm est justifiée pour une stabilité au feu de 1H

### 3.5. CACULS DES STRUCTURES EN BETON ARME «EC2»

#### 3.5.1. Descente de charge de la structure en béton armé l'EC2



Dessin 3.5.1a – coupe type sur la zone d'étude structure en B.A (voir annexe 3)



*Dessin 3.5.1b – vue en plan reprise des charges en BA (voir annexe 3)*

En béton armé les dalles des zones « Z1-Z2-Z3 » de 20cm d'épaisseur peuvent être dimensionnée correctement sans l'apport d'une poutre centrale pour reprendre la plaque ayant pour dimensionne 6.50\*7.02m. Dans le cas de notre étude, pour une meilleure comparaison structurelle, il est important que les deux structures (bois et béton) aient la même morphologie et le même système porteur poutres – voiles. La structure en bois ayant une poutre au milieu de la dalle pour des besoins structurel, l'hypothèse de prévoir le même système porteur pour la structure en BA me semble logique.

• **Hypothèses**

- Hauteur d'un étage  $H=2.72\text{m}$ .
- Dalle en béton de 20cm d'épaisseur.
- Mur en maçonnerie non d'épaisseur 20cm + revêtement
- $M_v = 900\text{kg/m}^3$        $G_4 = 0.2 \times 0.90 \times 2.72 = 0.49 \text{ t/ml/niv}$
- Charge d'exploitation :  $0.15\text{t/m}^2$  (habitation)
- Surface d'influence du plancher  $S_2 = \left[ \frac{(l_x1+l_x2) \times 0.8}{2} \right] = \left[ \frac{(3.78+3.04) \times 0.8}{2} \right] = 2.73 \text{ m}^2/\text{ML}$
- Poids propres de la dalle+revêtement+cloisons       $\text{PPD} = 0.2 \times 2.5 + 0.2 = 0.70\text{t/m}^2$
- Poids propre de la poutre en béton armé de section:  $30 \times 60^{\text{ht}}$   
 $\text{PPP} = 0.3 \times 0.6 \times 2.5 = 0.45 \text{ t/ml}$
- $P_o = (G_o + Q_o)$   
 $G_o = G_2 = 0.70 \text{ t/m}^2$   
 $Q_o = Q_2 = 0.15 \text{ t/m}^2$   
 $P_o = 0.70 + 0.15 = 0.85 \text{ t/m}^2$        $P_o = 0.85 \text{ t/m}^2$

• **Descente des charges au plancher haut du RDC**

$$P_o = \sum (G_i + Q_i)$$

- Toiture + 2 planchers + 2 voiles + 2 poutres

➤  $G_i = [(G_1 + G_2 + G_3) \times S_1] + (2 \times G_4 \text{ab})$   
 $= [(0.2 + 0.7 + 0.7) \times 2.72] + (2 \times 0.49) + 0.45 = 5.838 \text{ t/ml}$        $G_i = 5.84 \text{ t/ml}$

➤  $Q_i = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \times S_1$   
 $= (0.1 + 0.15 + 0.15) \times 2.73 = 1.093 \text{ t/ml}$        $Q_i = 1.10 \text{ t/ml}$

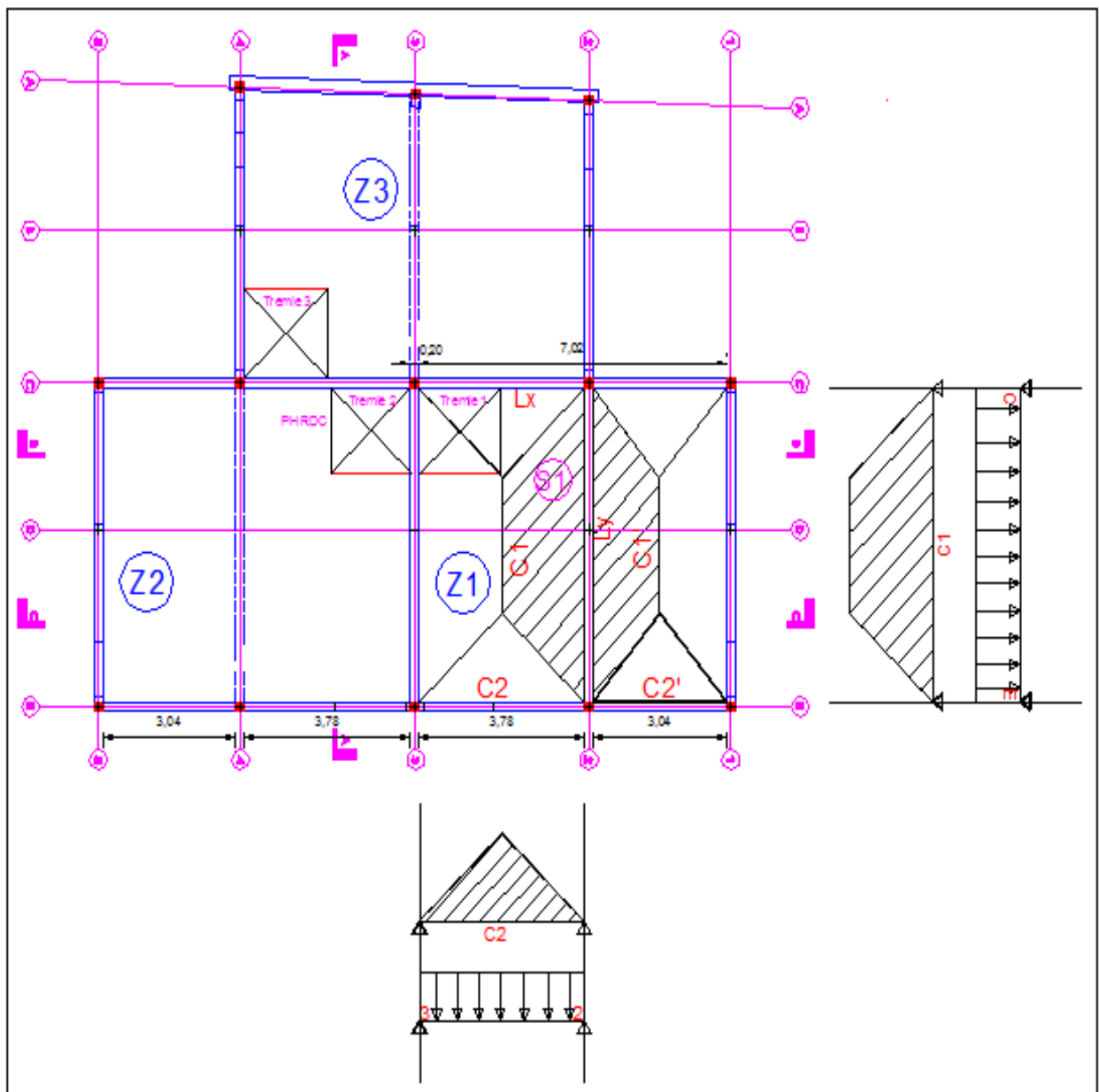
➤  $P_o = (5.84 + (0.49 \times 2)) + 1.10 = 7.92 \text{ t/ml}$        $P_o = 7.92 \text{ t/ml}$

➤  $P_u = 1.35 G + 1.5 Q$   
 $= 6.82 \times 1.35 + 1.5 \times 1.10 = 10.857 \text{ t/ml}$        $P_u = 10.86 \text{ t/ml}$

### 3.5.2. Dimensionnement de la poutre en béton armé suivant l'EC2

- **Hypothèses**

L'étude se fera sur la zone 1 du plancher haut du RDC suivant la vue en plan ci-dessous ainsi que la disposition des charges reprises par la poutre, car les trois zones Z1-Z2-Z3 sont plus ou moins symétriques



Dessin 3.5.2 – vue en plan reprise de charges sur poutre (voir annexe 3)

- Calcul de la surface d'influence

- Pour les surfaces

C1 : ( $l_y=6.50\text{m}$ ) et ( $l_x=3.78\text{m}$ )

C1' : ( $l_y=6.50\text{m}$ ) et ( $l_x=3.04\text{m}$ )

- $P_o = G + Q$  (étage courant) =  $0.70 + 0.15 = 0.85 \text{ t/m}^2$

- Chargement (coef 1)

$$C1 = \left[ \left[ l_y - \left( \frac{l_x}{2} \right) \right] \times \left( \frac{l_x}{2l_y} \right) \right] = \left[ \left[ 6.50 - \left( \frac{3.78}{2} \right) \right] \times \left( \frac{3.78}{2 \times 6.5} \right) \right] = 1.3415 \text{ ml}$$

- Chargement (coef 1')

$$C1' = \left[ \left[ l_y - \left( \frac{l_x'}{2} \right) \right] \times \left( \frac{l_x'}{2l_y} \right) \right] = \left[ \left[ 6.50 - \left( \frac{3.04}{2} \right) \right] \times \left( \frac{3.04}{2 \times 6.50} \right) \right] = 1.1647 \text{ ml}$$

- Chargement (coef 2)

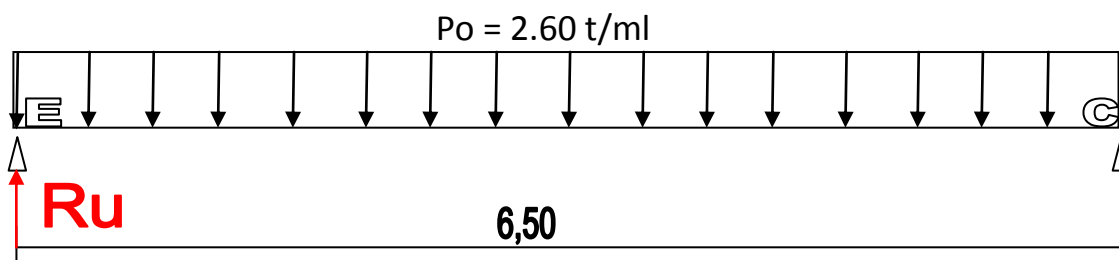
$$C2_{\text{max}} = \frac{(l_y \times P_o)}{4} = \frac{(3.78 \times 0.85)}{4} = 0.80 \text{ t/ml}$$

- Calcul charge  $P_o$  reprise par la poutre

$$P_o = [(0.70 \times C1) + (0.70 \times C1')] + [(0.15 \times C1) + (0.15 \times C1')] = 1.755 + 0.39$$

$$P_o = (G + \text{poids propre de la poutre}) + Q = (1.755 + 0.45) + 0.39 = 2.595$$

$$P_o = 2.60 \text{ t/ml}$$



### 3.5.3. Calcul des armatures longitudinales tendues

- **Hypothèses**

- Poutre de section : 30\*60 cm
- $d=0.9h = 54\text{cm}$
- Béton C25/30
- $F_{ck} : 25\text{ MPa}$
- Acier S500A  $\rightarrow f_{yk}$
- Classe d'exposition XC1 (Sec en permanence)
- $\gamma_c = 1.5$
- $\gamma_s = 1.15$
- $G=2.21\text{ t/ml}$  et  $Q=0.39\text{ t/ml}$

$$P_u = 1.35G + 1.5Q = (1.35 \times 2.21) + (1.5 \times 0.39) = 3.568\text{ t/ml}$$

$$P_u = 35.7\text{ KN/m}$$

- **Calcul moment de flexion «  $M_{Ed}$  » et l'effort tranchant «  $V_{Ed}$  »**

➤ Moment de flexion  $M_{Ed} = \frac{P_u \cdot l^2}{8} = (35.7 \times 6.5^2) \div 8 = 18.85\text{ t.m}$

$$M_{Ed} = 188.5\text{ KN.m}$$

➤ Effort tranchant  $V_{Ed} = \frac{P_u \cdot l}{2} = 35.7 \times 6.5 \div 2 = 11.60\text{ t}$

$$V_{Ed} = 116\text{ KN}$$

- **Contrainte de compression de béton «  $f_{cd}$  »**

Caractéristiques des matériaux

➤ Béton C25/30  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1.5} = 16.666\text{ MPa}$

$$f_{cd} = 16.67\text{ MPa}$$

➤  $f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3} = 0.3 \times 25^{2/3} = 2.559$

$$f_{ctm} = 2.56\text{ MPa}$$

➤ Acier S500  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78$

$$f_{yd} = 434.78\text{ MPa}$$

- **Calcul du moment ultime réduit «  $\mu_{lu}$  »**

Nuance MPa	$f_{yd}$ MPa	$\epsilon_{yd}$ ‰	$\alpha_{lu}$	$\mu_{lu}$
S400	347.83	1.739	0.668	0.392
S500	434.78	2.174	0.617	0.372

Pour un acier S500,

$$\mu_{lu} = 0.372$$

- **Calcul du moment réduit «  $\mu_{cu}$  »**

➤  $\mu_{cu} = \frac{M_{Ed}}{(b \cdot w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = \frac{0.1885}{0.3 \times 0.54^2 \times 16.67} = 0.129$

$$\mu_{cu} = 0.129$$



On a donc  $\mu_{cu} < \mu_{lu}$  : **0.129 < 0.372** → pas d'acier comprimés

Avec une section de 20\*50

$$\mu_{cu} = \frac{MEd}{(bw \times d^2 \times f_{cd})} = \frac{0.1885}{0.2 \times 0.45^2 \times 16.67} = 0.279 \quad \boxed{\mu_{cu} = 0.279}$$

Avec une section de 20\*60

$$\mu_{cu} = \frac{MEd}{(bw \times d^2 \times f_{cd})} = \frac{0.1885}{0.2 \times 0.54^2 \times 16.67} = 0.1938 \quad \boxed{\mu_{cu} = 0.194}$$

Poutre de section	Valeur $\mu_{cu}$
30*60	0.129
20*50	0.279
20*60	0.194

### Conclusion :

- Plus le moment réduit «  $\mu_{cu}$  » est grand plus le ratio d'acier augmente
- Si le moment réduit «  $\mu_{cu}$  » baisse le ratio d'acier diminue

Pour cette raison nous avons choisit un moment réduit moyen  $\mu_{cu}=0.194$ , équivalent à une poutre de section 20\*60.

- **Position relative de la fibre neutre dans la section «  $\alpha_u$  »**

$$\alpha_u = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{cu}}) = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.194}) = 0.272 \quad \boxed{\alpha_u = 0.272}$$

- **Calcul de «  $X_u$  »**

$$X_u = \alpha_u \times d = 0.272 \times 54 = 14.688 \text{ cm} \quad \boxed{X_u = 14.69 \text{ cm}}$$

- **Calcul du bras de levier «  $z_u$  »**

$$Z_u = d - (0.4 \times X_u) = d(1 - 0.4\alpha_u) = 54(1 - 0.4 \times 0.272) = 48.12 \quad \boxed{z_u = 48 \text{ cm}}$$

- **Calcul de la contrainte sur les aciers tendus**

$$\text{Avec palier plastique horizontal :}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \quad f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

• Calcul de la section d'armature «  $A_u$  »

$$\rightarrow A_u = \frac{M_{Ed}}{z_u \times f_{su}} = \frac{0.1885}{0.48 \times 435} = 0.0009028$$

$$A_u = 9.028 \text{ cm}^2$$

Choix :

$$A_u = 9.24 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \text{ HA14}$$

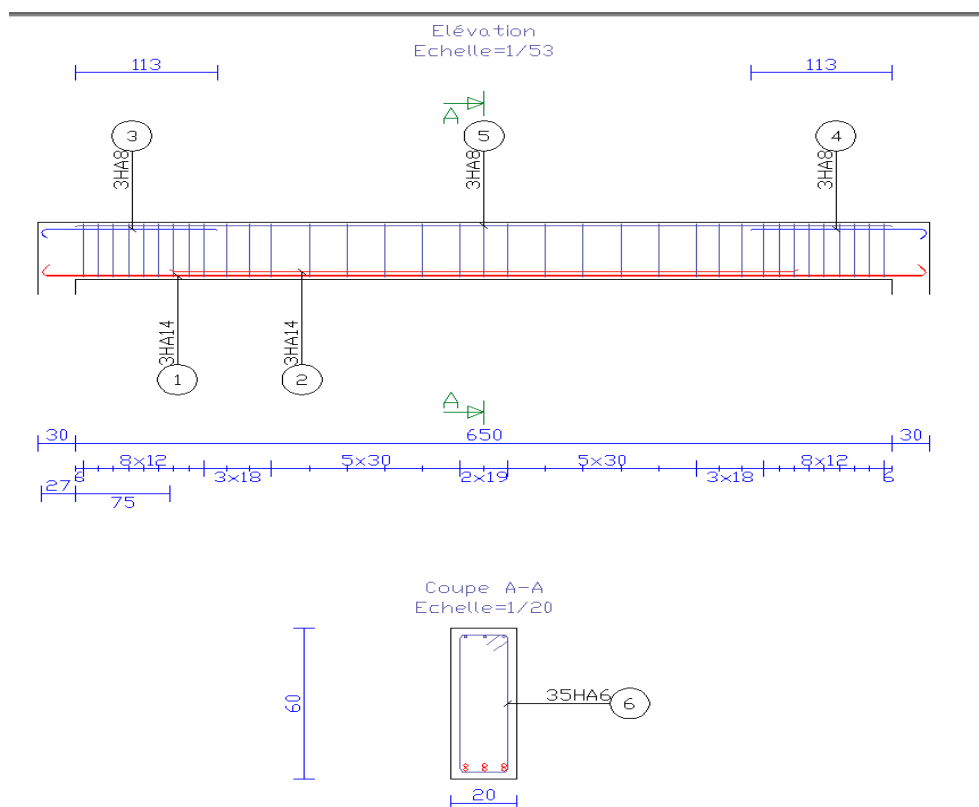


Figure 3.5.3. Plan de ferrailage de la poutre en BA

• Vérification du pourcentage mini

Le pourcentage minimum pour une poutre rectangulaire en flexion simple vaut :

$$\rightarrow A_{s,min} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 0.26 \frac{(f_{ct,eff})}{f_{yk}} bw \cdot d \\ 0.0013 bw \cdot d \end{array} \right.$$

Avec

- $F_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.56 \text{ MPa}$  car la maîtrise de la fissuration est requise.  
Ce qui nous donne :

$$\rightarrow A_{s,min} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 0.26 \frac{2.56}{500} 0.2 \times 0.54 = 0.000144 \\ 0.0013 \times 0.2 \times 0.54 = 0.000140 \end{array} \right. = 1.44 \text{ cm}^2 \leq A_{st}$$

### 3.5.3.1 Calcul du moment résistant en flexion à l'ELU

➤  $M_{rd} = A_u \cdot z_u \cdot f_{su} = 9.24 \cdot 10^{-2} \cdot 0.48 \cdot 435 = 0.193 \text{ MN.m}$

Le taux de travail des armatures :

➤  $\frac{M_{Ed}}{M_{rd}} = \frac{0.1885}{0.193} = 0.97 \rightarrow 97\%$

Ici pas de vérification à l'ELS, car en classe d'exposition XC, l'ELS n'est pas dimensionnant à l'EC2, car la contrainte de compression dans le béton est égale à la résistance caractéristique à la compression ( $\sigma_b = f_{ck}$ )

Classe d'exposition	Éléments en béton armé et éléments en béton précontraint sans armatures adhérentes	Éléments en béton précontraint avec armatures adhérentes
	Combinaison quasi-permanente de charges	Combinaison fréquente de charges
X0, XC1	0,40 <sup>(2)</sup>	0,20 <sup>(2)</sup>
XC2, XC3, XC4	0,30 <sup>(3)</sup>	0,20 <sup>(4)</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3, XD3 <sup>(5)</sup>	0,20	Décompression <sup>(6)</sup>

*Tableau : 3.5.3.1 issu de l'ANF définit l'ouverture maxi des fissures en fonction de la classe d'exposition*

Pour les classes d'expositions X0, XC1, XC2, XC3, XC4, pas de nécessité de vérification d'ouverture de fissure.

### 3.5.4. Dimensionnement effort Tranchant

- **Vérification de  $V_{Ed} < V_{Rd,max}$  pour le non écrasement des bielles comprimées**

➤ Détermination de l'effort tranchant maximal

$$V_{Ed} = P_u \cdot l / 2 = \frac{35.7 \cdot 6.5}{2} = 11.60 \text{ t} \rightarrow 116 \text{ KN} \rightarrow 0.116 \text{ MN}$$

➤ Vérification de la bielle comprimée de béton

Pour cette vérification, on ne tient pas compte des effets de la table de compression, car elle ne participe pas à la zone de compression sur appui.

On calcul donc l'effort maximal en considérant des bielles inclinées à 45°

$$V_{hd,max} = \frac{V_1 \cdot f_{cd} \cdot z_u \cdot b_w}{t \cdot g + C \cdot o \cdot t \cdot g \cdot o}$$

- $d = 0.9h = 0.54$  et  $z_u : 0.9d = 0.9 \cdot 0.54 = 0.486 \text{ m}$

V1 : coefficient de réduction de la résistance du béton fissurée à l'effort tranchant

- $V_1 : 0.6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1 - \frac{25}{250} \right] = 0.54$

- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_b} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$

$$\rightarrow V_{rd,max} = \frac{0.54 \cdot 16.67 \cdot 0.48 \cdot 0.2}{1+1} = 0.43 \text{ MN}$$

$V_{Ed} = 0.116 < V_{rd,max}$  → pas de problème de dimensionnement de la section de béton

### 3.5.4.1 Résistance de la section sans armatures transversales

$$V_{Rd,C} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} C_{rd,c} \cdot k \cdot b_w \cdot d (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \\ V_{min} \cdot b_w \cdot d \end{array} \right.$$

- $K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{0.9 \cdot 600}} = 1.61 \leq 2.0$
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{9.24 \cdot 10^{-4}}{0.2 \cdot 0.54} = 0.00855 \leq 0.02$

Pour l'Annexe Nationale Française (ANF)

- $V_{min} = \frac{0.053}{\gamma_c} \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} = \frac{0.053}{1.5} \cdot 1.61^{3/2} \cdot \sqrt{25} = 0.361 \text{ MPa}$
- $C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.50} = 0.12$

$$\rightarrow V_{Rd,C} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 0.12 \cdot 1.61 \cdot 0.2 \cdot 0.54 (100 \cdot 0.00855 \cdot 25)^{1/3} \\ 0.361 \cdot 0.2 \cdot 0.54 \end{array} \right. = 0.0579 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,C} = 0.0579 \text{ MN}$$

On a  $V_{Ed} > V_{Rd,C}$  → il faut donc mettre en place des armatures transversales

### 3.5.5. Calcul des armatures Transversales

On détermine les armatures transversales à mettre en place en considérant des aciers verticaux ( $\alpha = 90^\circ$ ) et des bielles à  $45^\circ$ , on écrit l'égalité  $V_{Ed} = V_{Rd,s}$ , ce qui nous donne :

$$\bullet \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{Z_u \cdot F_{ywd}} = \frac{0.116 \cdot \text{tg}45}{0.48 \cdot \frac{500}{1.15}} = 5.558 \text{ cm}^2/\text{ml} \quad \boxed{\frac{A_{sw}}{s} = 5.56 \text{ cm}^2/\text{ml}}$$

#### ▪ Dispositions constructives

On choisit pour ce cadre un diamètre de 8mm (HA8)

L'espacement des cadres ne doit pas dépasser :

$$S_{t,max} = 0.75 \cdot d(1 + \cot 90) = 0.75 \cdot 0.54 = 0.405 \text{ m} = 41 \text{ cm}$$

Il convient également de ne pas mettre d'espacements inférieurs à 7 cm

Un diamètre 8mm nous donne une section de 1.01cm<sup>2</sup> car on deux brins d'armatures

En prenant  $\frac{A_{sw}}{s} = 5.56\text{cm}^2/\text{ml}$ , on obtient un espacement initial de :  $\frac{1.01}{5.56} = 18\text{ cm}$

- $\frac{A_{sw}}{s} \geq \rho_{w,\min} * b_w * \sin\alpha$  avec  
Avec  $\rho_{w,\min} = \frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \rightarrow \rho_{w,\min} = \frac{0.08\sqrt{25}}{500} = 0.0008$
- $\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.0008 * 0.2 * \sin 90 = 1.43\text{cm}^2/\text{ml}$

### 3.5.6. Détermination du taux de travail en cisaillement

#### 3.5.6.1 Calcul des armatures transversales réelles

L'effort tranchant maximal que peuvent reprendre les armatures verticales vaut :

➤  $V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * Z_u * f_{ywd} * \cot \theta$  avec:

$$Z_u = 0.9h = 0.9 * 0.6 = 0.54\text{m}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 335\text{MPa}$$

→  $V_{Rd,s} = 5.56 * 10^{-4} * 0.54 * 435 * 1 = 0.131\text{ MN}$

- **Calcul de l'effort tranchant résistant**

➤  $V_{Rd} = V_{Rd,C} + V_{Rd,s} = 0.0579 + 0.131 = 0.188\text{ MN}$

- **Calcul du taux de travail de la poutre**

➤ Taux de travail =  $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{0.116}{0.188} = 0.62 = 62\%$

### 3.5.7. Dimensionnement d'un poteau en compression axiale

- **Hypothèses**

Dans le cas de poteaux de bâtiment, on appelle longueur libre  $l_0$  la longueur entre faces supérieures de deux planchers consécutifs.

- Poteau de section : 20\*20
- Hauteur de plancher à plancher :  $l_0 = 2.72\text{m}$
- Longueur de flambement : «  $l_f = l_0 = 2.72\text{m}$  » poteau bi-articulé
- Le moment quadratique :  $I_{\min} = bh^3/12$
- Combinaison de base :  $N = 1.35G + 1.5Q$
- On suppose que les poutres de rives ont la même section que la poutre principale de section 30\*60<sup>ht</sup> : soit  $PPP = 0.3 \times 0.6 \times 2.5 = 0.45 \text{ t/ml}$
- $C2_{\max} = \frac{(ly \times Po)}{4} = \frac{(3.78 \times 0.85)}{4} = 0.8 \text{ t/ml}$
- $C2 = 0.8 + 0.45 = 1.25 \text{ t/ml}$
- $P_u = 1.35 \times 0.8 + 1.5 \times 0.45 = 1.755 \text{ t/ml}$
- Acier S500A

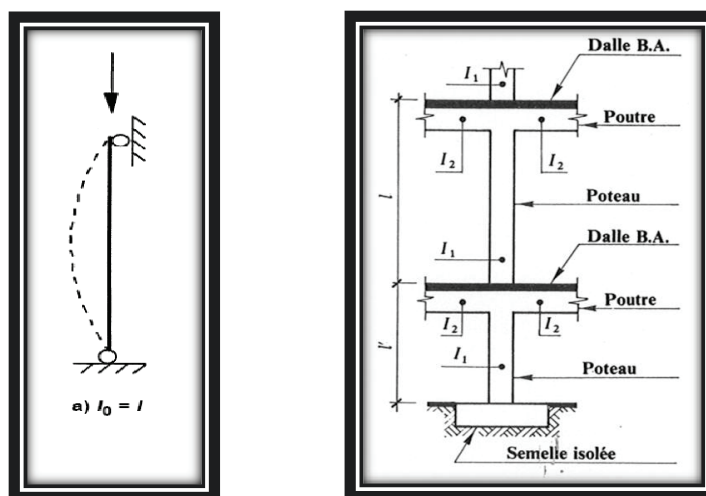
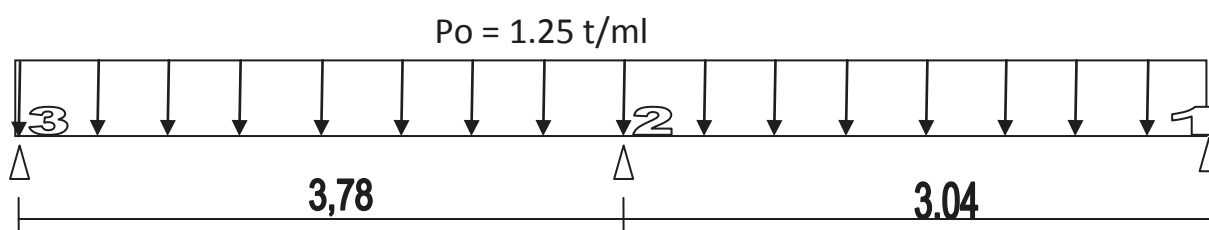
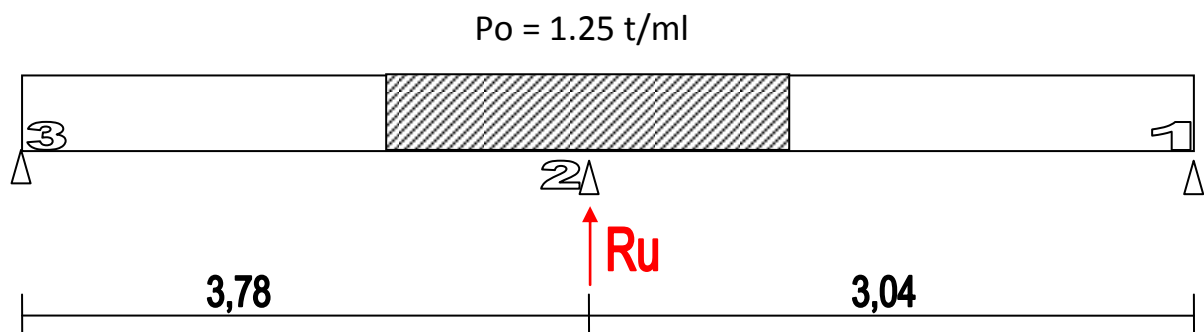


Figure 3.5.4a. Exemple de mode de flambement et de longueur efficace





Schémas mécanique des poutres de rives

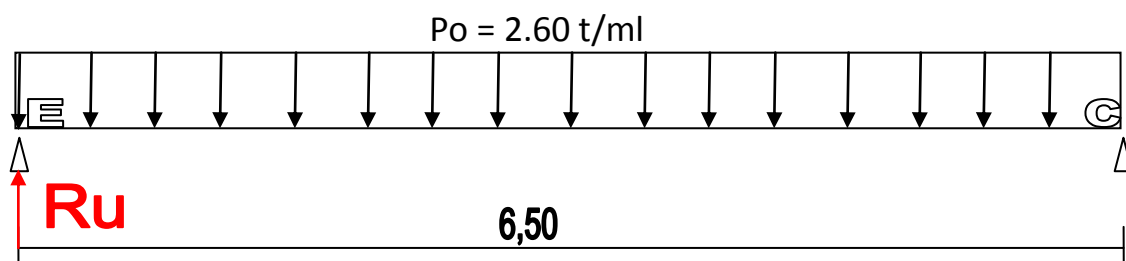


Schéma mécanique des poutres supportant les plaques Z1-Z2-Z3

• **Calcul de la descente des charges sur le poteau de rive en BA «  $R_U$  »**

- Réaction de la poutre de 6.5 m :

$$R_U = \frac{P_0 \cdot l}{2} = \frac{2.60 \times 6.5}{2} = 8.45 \text{ t}$$

Réaction des poutres de rives :  $1.25 \text{ t/ml} \times \left[ \left( \frac{3.78}{2} + \frac{3.04}{2} \right) \right] = 4.26 \text{ T}$

$$R_1 = 8.38 + 4.26 = 12.65 \text{ t}$$

Réaction de 2 niveaux :  $(2 \times 12.65) = \mathbf{25.3 \text{ t}}$

- Réaction de la toiture : la surface de la toiture reprise par la poutre est de  $1.75 \text{ m}^2$

$$\left[ (1.75 \text{ m}^2/\text{ml} \times 0.4 \text{ t/m}^2) \right] \times \left[ \left( \frac{3.78}{2} + \frac{3.04}{2} \right) \right] = \mathbf{2.39 \text{ t}}$$

- Réaction du poids des murs sur 2 niveaux (nous considérons que les voiles en maçonnerie avec ouvertures pèsent 85% de leurs poids réel : soit

$$\left[ 0.85 \times 0.9 \text{ t/ml} \times 2 \right] \times \left[ \left( \frac{3.78}{2} + \frac{3.04}{2} \right) \right] = \mathbf{5.22 \text{ t}}$$

- Poids propre des poteaux sur 2 niveaux :  $(2 \times 0.2 \times 0.2 \times 2.5 \times 2.72) = \mathbf{0.544 \text{ t}}$

Au final, la réaction en tête du poteau est de

$$R_0 = (25.3+2.39+5.22+0.544) = \mathbf{33.45 \text{ t (ELS)}}$$

$$Q = \sqrt{33.45 \times 0.5} = 4.10 \text{ t}$$

$$G = 36.11 - Q = 33.45 - 4.10 = 29.36 \text{ t}$$

$$R_0 = G_0 + Q_0 = (29.36 + 4.10) \text{ t}$$

$$\text{➤ } R_u = 1.35 \times 29.36 + 1.5 \times 4.10 = 45.786 \text{ t}$$

$$\boxed{R_u = N_{Ed} = 0.4580 \text{ MN}}$$

• **Calcul de rayon de giration «i»**

$$\text{➤ } i = \sqrt{I/B} = \frac{\sqrt{\frac{bh^3}{12}}}{b \cdot h} = \frac{\sqrt{h^2}}{12} = \frac{h}{2\sqrt{3}} = \frac{20}{2\sqrt{3}} = 5.773$$

$$\boxed{i = 5.773 \text{ cm}}$$

• **Calcul de l'Elancement «λ»**

$$\text{➤ } \lambda = l_0 / i = \left( \frac{272}{5.773} \right) = 47.11$$

$$\boxed{47.11 < 60}$$

• **Calcul du coefficient de flambement «α»**

Pour une valeur de  $\lambda < 60$ , on a :

$$\text{➤ } \alpha = \frac{0.86}{1 + \left(\frac{\lambda}{62}\right)^2} = \frac{0.86}{1 + \left(\frac{47.11}{62}\right)^2} = 0.545$$

$$\boxed{\alpha = 0.55}$$

• **Calcul des armatures de compression «A<sub>s</sub>»**

$$\text{➤ } A_s = \frac{1}{f_{yd}} \left[ \frac{N_{Ed}}{K_h \cdot K_s \cdot \alpha} - b \cdot h \cdot f_{cd} \right]$$

Avec :

-  $K_h$  : coefficient qui dépend des dimensions du poteau.

$$K_h = (0.7 + 0.5h)(1 - 6\rho \cdot \delta) = 0.93 \text{ pour } h < 0.50 \text{ m}$$

-  $K_s = 1$  Pour  $f_{yk} = 500$

$$- f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1.15} = \mathbf{434.78 \text{ MPa}}$$

$$- f_{cd} = \frac{K_k}{\gamma_s} = \frac{25}{1.50} = 16.66 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{1}{434.78} \left[ \frac{0.4580}{0.93 \times 1 \times 0.55} - 0.2 \times 0.2 \times 16.66 \right] = 0.000526$$

$$\boxed{A_s = 5.26 \text{ cm}^2} \text{ Choix } \boxed{4\text{HA}14 \rightarrow 6.16 \text{ cm}^2}$$



- **Calcul des armatures longitudinales « $A_{s,min}$ »**

Les armatures longitudinales doivent avoir un diamètre minimum de 8mm.

La section mini d'armatures longitudinales doit vérifier :

$$A_{s,min} = \frac{0.10 \times N_{ed}}{F_{yd}} \geq 0.002 A_c$$

Avec :

- $F_{yd}$  : limite élastique de calcul des armatures
- $N_{ed}$  : force de compression axiale de calcul
- $A_c$  : aire de la section transversale de béton

$$A_{s,min} = \frac{0.10 \times 0.4580}{434.78} \geq 0.002 \times 0.2 \times 0.2 \quad \rightarrow \quad 1.05 \text{ cm}^2 \geq 0.8 \text{ cm}^2 \quad \text{ok}$$

$$A_{s,min} = 1.05 \text{ cm}^2 \geq 0.8 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 1.05 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{smin}$$

- **Diamètre et répartition des armatures transversales**

Les armatures transversales (diamètres et espacements) sont définies par :

$$\triangleright \quad \varnothing t \geq \max \left\{ \frac{6 \text{ mm}}{\frac{\varnothing l, \max}{4}} \rightarrow \left\{ \frac{6 \text{ mm}}{\frac{14}{4}} = 3.5 \text{ mm} \rightarrow \varnothing t = 6 \text{ mm} = 0.6 \text{ cm} \right. \right.$$

$$\triangleright \quad st \geq \min \left\{ \begin{array}{l} 20 * \varnothing l, \min \\ \min(a, b) \\ 400 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 280 \\ 200 \\ 400 \end{array} \right. = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$$

L'espacement doit être réduit d'un facteur de 0.6 dans la zone située au dessus et au dessous d'une poutre ou d'une dalle, sur une hauteur égale à la dimension transversale la plus grande du poteau.

- $St = 20 \text{ cm}$  en zone courant (pour le plan de ferrailage on prendra  $St=18\text{cm}$ )
- $(0.6 \times St) = 0.6 \times 20 = 12 \text{ cm}$  en zone d'about

On choisit donc des cadres en HA8 espacement 18cm en zone courant et 12cm en zone d'about.

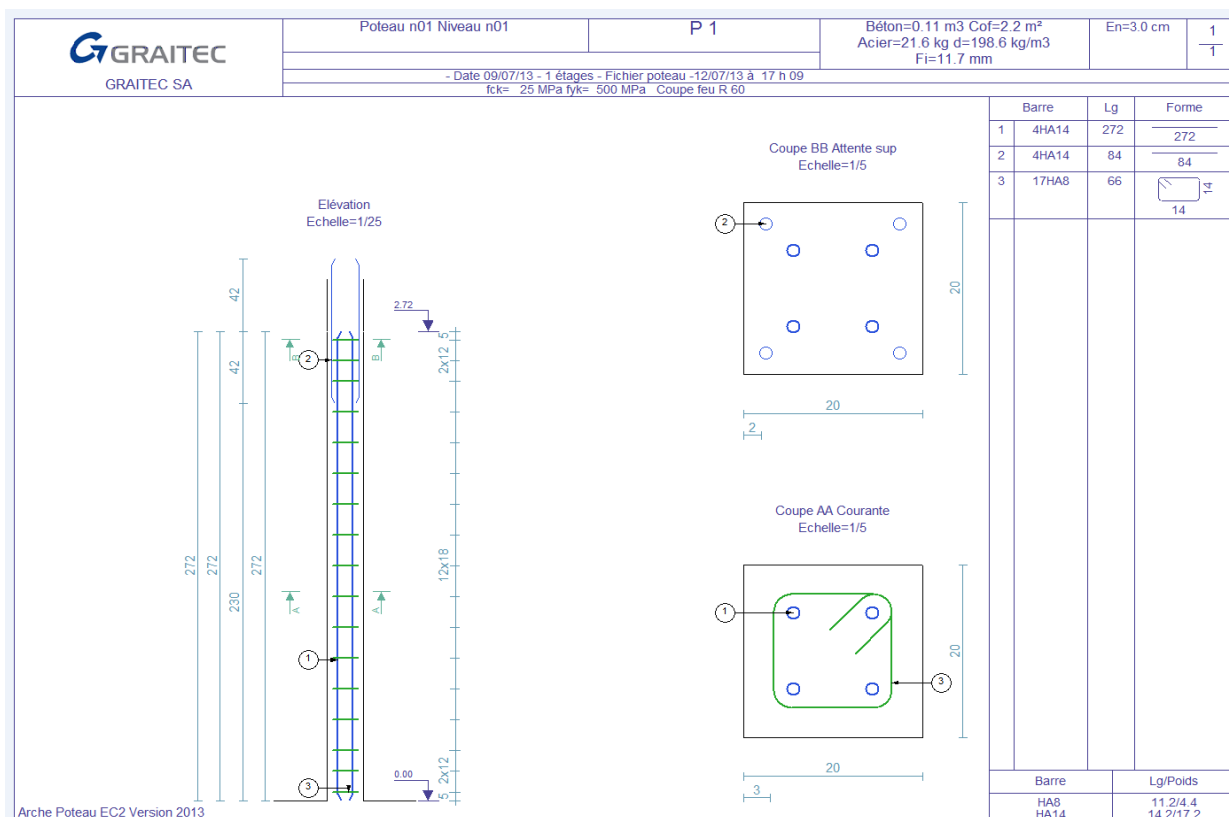


Figure 3.5.4b. Plan de ferrailage du poteau

### 3.5.8. Justification au feu de la poutre en BA « Méthode tabulée »

Vérification suivant l'EC 2, (section 5 – EN 1992-1-2). Poutres exposées au feu sur 3 côtés

Resistance au feu normalisé	Dimensionnement minimales (mm)			
	Combinaisons possibles de a et de b <sub>min</sub> , a étant la distance moyenne de l'axe des armatures au parement et b <sub>min</sub> étant la largeur de la poutre			
1	2	3	4	5
R30	b <sub>min</sub> =80 a=25	120 20	160 15*	200 15*
R60	b <sub>min</sub> =120 a=40	160 35	200 30	200 25
R90	b <sub>min</sub> =150 a=55	200 45	300 40	400 35
R120	b <sub>min</sub> =200 a=65	240 60	300 55	500 50
R180	b <sub>min</sub> =240 a=80	300 70	400 65	600 60
R240	b <sub>min</sub> =280 a=90	350 80	500 75	700 70

Tableau 3.5.5. Dimensions et distances de l'axe des armatures au parement minimales « poutre appuis simple »

### **Conclusion**

Pour une poutre isostatique de section 200x600mm avec un enrobage de 30mm est justifiée pour une stabilité au feu de 1H

Cet exemple de calcul sur un cas simple « d'une poutre » permet de voir la différence d'approche de justification d'une section au feu en fonction du matériau.

Pour le matériau bois la justification au feu de la pièce dépend de la surface consommée au cours de l'incendie, la section réduite appelée aussi section du bois restante en fin de délai réglementaire et reprenant l'ensemble des sollicitations nécessaire à son non effondrement. Dans le cas d'une forte section, la stabilité au feu de 1h est généralement justifiable. Par contre dans le cas de sections minces, ou une section à forte chargement, les règles de dimensionnement peuvent entraîner une augmentation de la section des éléments, pour des raisons économique, l'on peut rajouter des parements de protection possédant un PV d'essais, pour améliorer les performances des éléments.

On suppose que le matériau à proximité de la ligne de carbonisation dans la couche d'épaisseur «  $k_0 d_0$  voir schéma 3.4.6a » a une rigidité et une résistance nulles, alors que les propriétés de rigidité et la résistance de la section restante sont supposées non modifiées.

Pour le matériau béton, la méthode de justification de la section est radicalement différente, ici on applique la méthode tabulée, qui consiste à déterminer la résistance au feu de la section en fonction de la largeur de la poutre (b) et de l'enrobage (a) des aciers qui reste le facteur déterminant dans la tenue au feu de l'ouvrage.

### **3.6. SYNTHÈSE COMPARATIVE DES DEUX SOLUTIONS STRUCTURELLES BOIS - BETON**

Après avoir dimensionné les squelettes des deux structures « bois et béton », ce chapitre sera entièrement consacré sur l'étude comparative. L'objet de cette partie du mémoire est d'explorer puis de faire une comparaison structurelle entre le bois et le béton, elle se basera sur les synthèses techniques, économiques et environnementales.

#### **3.6.1. Synthèse technique**

On notera que cette synthèse technique représente une base de comparaison aussi bien structurelle (poids), que thermique, acoustique et sécurité contre l'incendie. L'objectif est de fournir un support technique complet pour les phases étude, conception et réalisation des structures à ossature bois et béton

### 3.6.1.1 Une infrastructure en béton armé

La structure en béton armé est composée des fondations (semelles filantes) et tous les éléments d'infrastructure en béton à savoir (voiles, poteaux, poutres, les planchers hauts et bas du sous-sol ainsi que la rampe de parking.

Les fondations sont superficielles de type filantes et sont réalisées suivant les dispositions de l'étude de sol, conformément au rapport géotechnique n°11 9841/ES/GIF établie par la société « GEO EXPERTS », les voiles périmétriques sont réalisés en maçonnerie en bloc type « STEPCO »

Toutes les parois contre terre sont protégées contre les eaux avec les matériaux suivants :

- Hydrofuge de masse incorporé au béton
- Un revêtement bitumeux
- Une étanchéité

Le plancher haut du sous-sol est en béton armé d'épaisseur suivant étude de structure, respect des surcharges d'exploitation spécifiques au projet, respect la réglementation incendie et des plans de l'architecte.

La réalisation d'une talonnette en béton armé à l'interface infrastructure/superstructure vise à désolidariser la structure bois du contact avec les terres et leurs agents agressifs, tels que les insectes, champignons et l'humidité, il permet aussi à la structure de bénéficier d'une excellente durabilité.

### 3.6.1.2 Une superstructure en bois

La superstructure se décline en deux typologies d'ossature bois en fonction de la destination. Les éléments verticaux de la structure sont composés de montants et de traverses pré-montés à l'atelier de section 40x145mm espacés tous les 600mm, un panneau OSB de 12mm pour le contreventement dans le plan de la façade, et en flexion pour reprendre des efforts du vent (l'ensemble joue le rôle de voile travaillant, lequel recevra le parement extérieur qui assure la protection aux intempéries. Ces panneaux OSB assurent aussi l'indéformabilité de l'ossature nécessaire à la stabilité de la structure.

L'ossature des murs mitoyens se compose de montants et de traverses pré-montés à l'atelier, et complétée par un isolant et d'un OSB. Un pare-vapeur est prévu à l'intérieur des murs et des lattes sont prévues pour maintenir le pare-vapeur et recevoir le parement. Les murs de refend se composent de plaques de BA13 de chaque côté plus une laine minérale. Pour les planchers (parois horizontale), ils assurent un contreventement horizontal.

### 3.6.1.3 Comparatif des poids de structure bois – béton

Dans un projet de construction le poids d'un bâtiment quelque soit l'ouvrage à réaliser (bâtiment public, logements collectifs ou individuels...) est déterminant pour la faisabilité du projet. Pour le projet de construction présenté dans ce mémoire, le poids fut l'un des critères décisif de la faisabilité. Nous savons tous que le premier avantage concurrentiel du bois par rapport au béton tient à sa légèreté. Dans ce projet le poids propre du bois résineux utilisé pour la conception structurelle est de  $6\text{KN/m}^3$  alors que celui du béton est de  $25\text{KN/m}^3$  soit 5 fois celui du bois, et  $9\text{KN/M}^3$  pour une conception en maçonnerie soit 1,5 fois celui du bois. La légèreté du bois impose la construction des bâtiments de faible hauteur idéal pour les villes en plein expansion, ceci s'explique par la rapidité de construction des bâtiments en bois car les murs « panneaux » à ossature bois sont souvent préfabriqués en usine ce qui permet de réaliser le montage des clos couvert\* en moins de 3 semaines après la réalisation de l'infrastructure (parking, bassins de rétention etc...) là aussi la légèreté du bois permet au maître d'ouvrage d'économiser une somme non négligeable sur l'exécution des fondations, murs de soutènement, car plus la superstructure est légère moins l'infrastructure consommera les matériaux (aciers, béton, coffrage etc....). Avec la flambée des cours de matières premières, sans oublier la crise économique, les budgets alloués aux projets de constructions sont de plus en plus restreints. Les maîtres d'ouvrages optent de plus en plus pour les projets rapides et à moindre coût.

La légèreté de l'ossature bois offre aussi un excellent rapport poids propre/résistance mécanique tout en présentant une bonne résistance au contreventement et aussi mouvement sismiques. La grande résistance mécanique du bois alliée à sa légèreté en fait le matériau de choix utilisé depuis des siècles pour l'exécution des charpentes et des pieux de soutènement, pièces maîtresses de toutes les maisons quelque soit la conception de leurs murs.

Au delà des poids volumiques, le mode construction joue également un rôle important dans la masse totale de l'ouvrage. Ainsi dans le cadre de notre projet et suivant les deux descentes de charges du projet, la réaction en tête du poteau vu au chapitre 3.4.5 pour l'ossature bois et au chapitre 3.5.4 pour l'ossature en béton est de : ( $R_{O\text{ bois}} = 16.30\text{ t}$  et

$R_{O\text{ béton}} = 33.45\text{ t}$ ), on remarque que la structure en bois pèse 2 fois moins que la structure en béton, ceci pour la simple raison qu'elle intègre généralement une part important de vide dans certains éléments structurels (voiles et planchers), ce qui n'est pas le cas pour la structure en béton armé.

Le comparatif des deux descentes de charges permet d'estimer un allègement de la structure d'environ 52%. Cet allègement a une incidence directe sur le dimensionnement des fondations.

En sachant également, qu'un chantier à ossature bois dure entre 4 et 5 mois contre 11 à 12 mois pour une construction maçonnée. Le fait qu'une construction en bois soit plus légère que son équivalente en béton fait qu'elle nécessite des fondations moins importantes et moins compliquées, donc plus rapides à réaliser, évitant ainsi toute improvisation coûteuse pour le gros œuvre comme pour le second œuvre.

De plus, alors que la structure en béton est dépendante des mouvements du sol, pouvant entraîner fissures et ruptures, le bon rapport poids par capacité de résistance du bois prémunit la structure en bois face aux mouvements du terrain, épargnant les dégradations précipitées.

La légèreté du matériau bois permet et invite à généraliser la fabrication, l'ensemble de la construction est fabriqué en usine et assemblé rapidement sur site.

Cette logique est importante dans le jeu concurrentiel avec le béton, elle donne au bois l'avantage considérable, le chantier a lieu en atelier, ce qui permet de construire mieux et plus rapidement, en éliminant une bonne partie des risques et pathologies de la construction.

La légèreté du bois par rapport au béton permet de se libérer des contraintes liées à la construction dans les zones difficiles d'accès ou à des terrains à faible portance. Elle permet notamment d'éviter les coûts liés à ces contraintes.

#### 3.6.1.4 Synthèse thermique

La conductivité thermique, «  $\lambda$  », d'un matériau caractérise son aptitude à transmettre la chaleur. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant.

La résistance thermique d'un matériau, «  $R$  », est proportionnelle à l'épaisseur de l'isolant et inversement proportionnelle à sa conductivité thermique. Plus la résistance thermique est élevée, plus le matériau est isolant.

Comme vu précédemment dans le paragraphe 2.8.4.1 suivant le tableau comparatif des conductivités thermiques des matériaux. Le matériau bois grâce à sa très faible conductivité thermique, il limite très fortement la création de ponts thermiques. Comparativement au béton, ses caractéristiques thermiques dans les constructions bois, afin de créer un déphasage entre le moment où la chaleur pénètre dans les parois de la structure et celui où elle se diffuse dans les locaux.

Comparativement au béton qui est un excellent matériau en ce qui concerne le confort d'été, grâce à sa forte densité 4 à 6 fois supérieure au bois (selon les espèces).

Des solutions existent pour renforcer l'inertie de parois légères, on peut, alourdir l'isolation, ou prévoir un isolant à forte densité. Le doublage des panneaux, ou des solutions à base de panneaux massifs, voir opter pour des solutions constructives mixtes. Ces solutions s'avèrent plus efficaces en matière de confort d'été, que les solutions à base de panneaux à cavité.

Pour notre projet, la faible inertie thermique de la structure bois a conduit :

D'une part à une mise en place des isolants à forte capacité thermique sur les faces extérieures de tous les voiles travaillant.

D'autre part à la mise en place des vitrages à couche de contrôle solaire, protégés extérieurement par des volets roulants. Enfin, il a été mis en place deux systèmes de

ventilation naturelle suivant l'orientation traversante des ouvertures, et une ventilation mécanique à double flux, dans le but de réduire les apports solaire en été.  
et la souplesse de technique de mise en œuvre de l'ossature bois favorise l'adaptation aux performances recherchées en éliminant les ponts thermiques.

Le bois a une faible inertie thermique, sachant que l'inertie thermique d'un matériau est fonction de sa capacité à emmagasiner de la chaleur, le jour, et de la fraîcheur, la nuit, dans sa structure puis à les diffuser lentement, afin d'amortir les variations jour-nuit des températures intérieures. Dans ce contexte la faible inertie du bois limite ces capacités en matière de confort d'été, raison pour la quelle il est conseillé de renforcer l'inertie

### 3.6.1.5 Synthèse acoustique

En matière d'isolation acoustique aux bruits aérien, (extérieur ou intérieur), les résultats sont satisfaisants en ce qui concerne les bâtiments à ossature bois, car les solutions techniques en construction bois sont multiples et elles ont fait leurs preuves. Elles peuvent aussi bien protéger des bruits extérieurs, limiter les bruits intérieurs et contribuer à une meilleure acoustique architecturale. Les solutions constructives en bois, associées à des isolants souples et à des plaques de plâtre, permettent de respecter aisément la réglementation acoustique et d'aller au-delà si nécessaire, que ce soit pour les murs extérieurs, cloisons, planchers ou toitures. Elles s'avèrent être également un moyen idéal pour conduire et magnifier le son dans les salles de spectacles et de conférences.

Comparativement à une structure en béton armé qui fonctionne suivant la loi de masse. Les filières sèches, de part la fabrication des panneaux sandwich s'appuient en général sur le principe masse-ressort-masse. Outre les qualités d'isolement aux bruits aériens, ce type de complexes multi-matériaux contribue efficacement à lutter contre les transmissions solidiennes en permettant la séparation des différents matériaux. De l'importance de ces masses et de l'efficacité de ce ressort dépendent les performances acoustiques de la paroi.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer au paragraphe « 2.8.2 et 2.8.3.1 » la réduction des transmissions bruits est favorisée par une faible densité du matériau bois par rapport à celle du béton avec pour but une réduction de la vitesse de propagation des ondes sonore et le temps de réverbération à l'intérieur d'une pièce.

Les performances d'isolation acoustique des planchers bois restent faibles, cette difficulté en matière d'isolation acoustique des planchers réside dans l'équilibre à trouver entre la résistance mécanique de l'isolant et la souplesse nécessaire pour obtenir des performances acoustiques intéressantes. Des solutions techniques existent pour traiter et ou pondérer le niveau des bruits de choc, on peut :

D'une part traiter le dessus du plancher en posant une chape sèche ou de couler la chape en béton sur une couche souple (liège, fibre de bois ...etc).

D'autre part au dessous du plancher, l'isolation acoustique d'un plancher d'étage en bois peut également consister en la pose d'un isolant entre et sous les solives, cet isolant est maintenu au moyen d'une ossature suspendue (rails du faux plafond) sur laquelle sont fixées

une ou deux épaisseurs de plaques de finition(BA13), notamment pour garantir l'isolement aux bruits d'impact.

Comparativement aux planchers béton, les contraintes acoustiques règlementaires d'un bâtiment à usage d'habitation prévoies deux solutions.

La solution la plus simple consiste de poser sur une dalle en béton armé, un revêtement de sol souple ou plastique, avec une sous couche acoustique, mais cette solution présente des inconvénients d'usage, notamment à cause du poinçonnement des talons, des meubles ...

La deuxième solution, celle du plancher BA, avec une chape flottante sous carrelage en pièce humide ou séjour et parquet flottant ou sol souple dans les autres pièces. Cette solution constructive est la meilleure pour une qualité d'isolation aussi bien aux bruits d'impacts qu'aérien, si la mise en œuvre est réalisée dans les règles.

Dans le cas de notre projet, les deux solutions sont accouplées, dans le but de garantir le respect des exigences acoustiques. D'une part à cause de la faible densité du plancher, pour remplir les exigences règlementaire, nous avons opté pour une solution de renfort du plafond en fixant plusieurs plaques de BA13 de finition, plus une chape flottante acoustique plus (parquet et carrelage suivant les pièces), un élastomère de 7mm type Tecsound ...etc, afin de conférer une meilleure densité au plancher et ainsi répondre aux exigences d'isolement aux bruits aériens, et aux bruits d'impact. Dans le but de favoriser la filière sèche il a été choisit la constitution ci-dessous du bas vers le haut :

- 2 plaques de BA13 pour le faux plafond
- 1 pare vapeur
- Une couche de laine minérale de 4.5cm d'épaisseur à 20kg/m<sup>3</sup>
- Une deuxième couche de laine minérale de 10cm à 23kg/m<sup>3</sup>
- Des poutres primaires et secondaires en ossatures porteuses
- Des tiges filetées pour les suspentes du faux plafond. Au droit des solives il sera mise en œuvre des tampons de sols élastiques modèles TS
- Des panneaux OSB de 22mm
- De la laine minérale de 3cm à 20kg/m<sup>3</sup>
- Un élastomère de 7mm type Tecsound
- De la laine minérale de 2cm densité à 90kg/m<sup>3</sup>
- Des panneaux OSB de 12mm
- Un polystyrène expansé de 3mm (resillient)
- Une chape flottante acoustique plus (parquet carrelage etc.)

### 3.6.2. Synthèse sur la sécurité contre l'incendie

La différence entre la construction en bois et les autres systèmes constructifs réside dans le déroulement de l'incendie, au niveau de la différence de comportement des matériaux à faire face au feu.

D'une part si le matériau bois est certes combustible, il offre une excellente tenue au feu par rapport aux autres matériaux de construction (béton, acier..etc). Il a notamment une forte capacité à conserver ses propriétés mécaniques sous les effets d'un incendie, ce qui permet d'assurer une grande stabilité des ouvrages. Comme le montre la vérification au feu de la



section résiduelle d'une poutre réalisée au paragraphe 3.4.6.1. Les pièces de structure de l'ossature bois se dimensionnent en prenant en compte, le dimensionnement de la section résiduelle (section détruit par le feu au cours de l'incendie). Car Lors d'un incendie, la résistance au feu des éléments de structure en bois (poteaux, murs, poutres, planchers...) doit être assez élevée pour pouvoir continuer à assurer leur rôle afin de permettre l'évacuation des personnes présentes.

Contrairement aux idées reçues, le bois est un matériau possédant l'une des meilleures résistances au feu, trois raisons à cela :

- le bois conduit mal la chaleur,
- Il contient de l'eau,
- Il forme en brûlant une croûte carbonisée qui freine la combustion jusqu'à l'empêcher.

Ces pièces de forte section (ép > à 6 cm) brûlent lentement, car la carbonatation de la couche externe de charbon de bois ralentissant encore la combustion. Loin d'augmenter les risques d'incendie, il brûle lentement sans transmettre sa chaleur aux parties voisines et sans dégager de fumée toxique. Sa stabilité vient de ce qu'il ne se dilate pas et n'éclate pas à la chaleur et les dangers d'effondrements immédiats sont donc nul, (contrairement aux constructions en béton et métalliques).

D'autre part, les pièces de structure en béton armé se dimensionnent aussi en prenant en compte la baisse de ses caractéristiques mécaniques sous l'influence de la hausse de température.

Elles se dimensionnent en fonction du type d'élément, la détermination de la résistance au feu se fait par la méthode tabulée (EN 1992-1-2), suivant la section de l'élément, les valeurs minimales de largeur de poutre (b) et la distance axe de l'armature parement (a) sont simplement lues sur des tableaux. Les degrés de stabilité au feu vont de 30 minutes jusqu'à 4H, suivant la largeur de l'élément.

Pour un élément en bois, le calcul de la résistance au feu nécessite la prise en compte de la quantité de matériau sacrificielle. Comparativement à la structure en béton, même si la structure en bois conserve ses propriétés mécaniques sous l'effet d'un incendie, les exigences en matière de stabilité au feu d'une structure bois semblent limitées à 1H, au delà sections ou les écrans de protections rapportées comme les plaques de plâtre, de fibres-ciment, de bois ciment et autres panneaux nécessaires à mettre en œuvre entraineraient des problèmes d'encombrement, de réduction des surfaces et surcoût économique.

Dans le cas de notre projet, les éléments structuraux poteaux/poutres, sont dimensionnés suivant Les règles de résistance au feu EN 1992-1-2 pour assurer la stabilité au feu de 1H. Les panneaux de plancher prévus dans le projet bénéficient de la certification de conformité à la norme NF EN 14080 et d'un PV d'essai garantissant une stabilité au feu de 1H, avec une exigence assurée par la mise en place de la chape sur ce plancher. Car la résistance au feu des planchers est particulièrement importante pour maintenir la stabilité du bâtiment le plus longtemps possible.

Concernant les panneaux verticaux de l'ossature, pour éviter une justification de stabilité avec des sections réduites, on dispose un écran en plâtre ou en panneaux bois-ciment ou en

gypse renforcé de fibres ou encore des panneaux de bois en surépaisseur : 0,7 mm d'épaisseur supplémentaire par minute de protection recherchée. Donc le fait de fermer les faces intérieures par des cavités d'ossatures bois par deux plaques de plâtres assurent l'exigence de coupe feu ou de stabilité au feu, cette fermeture permet, en fonction du nombre des plaques par parement (2 plaques dans le cas de notre projet) et de leurs caractéristiques, de jouer le rôle d'écran protecteur de l'ossature. Ce dispositif permet d'atteindre une résistance au feu d'environ 2H.

Concernant les façades, dans le cas de notre projet (habitations individuelles R+2) la réglementation en matière de sécurité incendie ne prévoit aucune exigence de la règle C+D

### 3.6.3. Synthèse économique

Cette synthèse économique est un comparatif entre la solution structurelle bois et la solution structurelle béton, qui vise à établir plus ou moins les différences de coûts entre les deux méthodes de construction. Le dossier contient également un petit exemple d'analyse précis de ce que recouvrent les différents prix pour « 1m<sup>2</sup> de construction clef en main » de chacune des deux solutions, pour permettre de dresser un bilan économique. Cette synthèse économique se fera sur deux critères :

- Critères délai
- Critère prix pour 1m<sup>2</sup> de construction clef en main

#### 3.6.3.1 Délai de réalisation de la structure

Selon le type de structure et les contraintes liées à sa réalisation, les principaux critères que nous avons retenus sont liés au coût et aux délais. Dans ce projet le délai représente : le temps mis pour la fabrication, la livraison et pose de la structure. Sachant que la construction en bois a une marge de manœuvre beaucoup plus grande que la construction en béton, car la demande en main œuvre est moindre, ceci s'explique en partie pourquoi les constructions en bois « basse consommation » se développent de plus en plus en France et en Europe, avec des techniques de maison bois tout préfabriquées en usine et montée sur site en un temps record sans se soucier des intempéries comme c'est souvent le cas pour les constructions dites classiques en béton ou en maçonnerie.

L'analyse de cette base comparative des deux structures au niveau de la « main d'œuvre » nous amène à dire que le gain de temps lors de la fabrication et la pose d'un bâtiment à ossature bois permet d'aboutir à des coûts largement inférieurs aux constructions en béton.

Pour notre projet les deux niveaux de superstructure à ossature bois et toiture ont été réalisés en à peine deux semaines, au rythme d'une livraison par semaine, soit une élévation verticale ou horizontale selon l'avancement. En moyenne, chaque étage a été monté par « 3 ouvriers + une pelleuse » suffit, et l'assemblage ne dure qu'une semaine.

En comparaison le même projet en béton ce nombre est estimé à « 5 ouvriers + une grue + des camions toupies », donc du simple au double.

Comparaison suivant la durée du chantier, alors que le temps nécessaire à la construction d'une maison en en béton armé ou en parpaing est de 11 mois en moyenne, une maison bois sera construite entre 4 à 5 mois.

La durée du projet impactera considérablement le « budget main d'œuvre » et les frais financiers (loyer, emprunts etc....), ce qui est non négligeable sur l'enveloppe du budget.

### 3.6.3.2 Estimation du coût global des deux solutions

Cette démarche d'estimation du coût global intègre les phases de conception, et de réalisation des deux solutions.

Comparativement à la solution béton, les principaux postes d'économie de la structure en bois sont la réalisation des fondations et la main œuvre.

Pour notre projet la légèreté d'une structure en bois permet de réduire jusqu'à 36% le poste gros œuvre (fondation), sans oublier la durée de construction d'une structure en bois qui est 2 fois moins longue que la réalisation d'une structure en béton, ce qui génère des économies non négligeable sur le budget main d'œuvre.

Suivant le bilan estimatif des deux solutions bois – béton (voir annexe 1), comparativement à une structure bois, la solution d'une structure en béton génère un surcoût global d'investissement de 21%, et un écart de +3% par rapport à l'estimation du projet. Ce surcoût s'explique d'abord par le coût des matières premières (acier, béton etc), l'installation d'une grue et la main d'œuvre.

Pour le maître d'ouvrage le calcul fut rapide, l'option d'une construction en bois s'impose, «c'est un choix économique et rentable » et le résultat final lui donne raison c'est un projet rapide et à moindre coût.

### 3.6.4. Synthèse environnementale

Contrairement au béton ou à l'acier, le bois est une ressource renouvelable. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents le bois joue un rôle de « puits de carbone » c'est-à-dire qu'un élément bois pendant son cycle de vie, absorbe plus de CO<sub>2</sub>, principal gaz responsable du réchauffement climatique, pour relâcher de l'oxygène dans l'atmosphère. Un avantage particulièrement apprécié de nos jours dans le contexte de réchauffement climatique.

Un bâtiment qui utilise 35 m<sup>3</sup> de bois, stock ainsi un peu plus de 35 tonnes de CO<sub>2</sub> dans ses poutres, solives, bardages, planchers, etc. A l'inverse, le béton est responsable de 10% des émissions de CO<sub>2</sub> en France.

Si l'on tien compte du bilan environnemental comparé de deux structures constructifs, réalisé par l'ACOB (Association Française des Fabricants de Charpentes en Béton) et publié en février 2009, celui de l'ossature en béton et celui de l'ossature mixte : poteaux en béton, poutres et pannes en bois lamellé collé, rédigée en conformité avec les exigences de transparence des normes internationales, et à partir des « FDES » Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire établies suivant la norme NF P 01-010.

Cette analyse comparée des cycles de vie et le bilan environnemental d'une poutre en lamellé collé et d'une poutre en béton armé pour un bâtiment de stockage, il en ressort un bilan environnement en faveur de béton armé avec 8 critères favorable contre 3 seulement pour la poutre en lamellé collé malgré un bilan d'émission de CO<sub>2</sub> négatif pour le bois.

Sachant que le transport des bois, par bateau ou par route, émet des pollutions qui augmentent les émissions de gaz à effet de serre, de même que les bois venant des pays de l'est et transportés par camions. En privilégiant l'achat des essences locales au projet ceci permettrait de limiter l'impact des gaz à effet de serre. Cependant, cette solution défavorise des villes dépourvues des exploitations forestières et du niveau de développement des filières bois régionales, elle reste donc très inégale géographiquement.

## CONCLUSION

Ce mémoire s'est décomposé en deux phases de travail qui m'ont permis de voir et d'approfondir mes connaissances du matériau bois et de découvrir la conception de structure à ossature bois, ces avantages et ces inconvénients, en fonction des choix fait par le maître d'ouvrage, l'architecte et le bureau d'études quant au type et système constructif.

Cette étude comparative entre une structure à ossature bois et une structure en béton a permis de fournir une base sur le choix de construction répondant au mieux au cahier de charges du maître d'ouvrage. De cette comparaison il ressort que la solution d'une construction en bois est plus économique, les constructions en bois sont plus performantes du point de vue écologique, énergétique et acoustique. Leur mise en œuvre est beaucoup plus rapide car préfabriquée en usine, et demande moins de main d'œuvre, cependant elle nécessite une étude préliminaire approfondie, seul inconvénient les structures à ossature bois sont limitées en hauteur.

Le développement des bâtiments BBC (Bâtiment Basse Consommation) nous pousse à dire que la construction des structures à ossature bois connaîtra de plus en plus une forte progression dans les années à venir. Face à la technicité de ce type de construction, le travail de conception et de réalisation ne peut plus être effectué par l'architecte seul. Car quand on construit un bâtiment à ossature bois, trois éléments doivent retenir l'attention du maître d'ouvrage : il s'agit de la solidité du bâtiment, sa stabilité à travers le temps. Si construire une maison en bois répond à ces deux critères, il permet d'en satisfaire un troisième : le gain de place, pour ces raisons les connaissances des ingénieurs en matière de stabilité de la structure doivent intervenir dès la conception afin de proposer de nouvelles solutions, efficaces et économiques.

Cette étude, en plus de m'avoir permis de découvrir ce nouveau type de construction structurelle, car mes expériences se limitaient dans la construction des structure en béton, ce travail m'a aussi fait sentir que les choix de l'ingénieur peuvent avoir d'énorme conséquences sur la structure et qu'il convient de ne pas se tromper pendant la conception. En suivant de bout en bout ce projet j'ai vu l'importance qu'ont les interactions entre les différents corps de métier et les différents acteurs de la construction pour faire avancer ce projet.

Les résultats de mon étude comparative sont synthétisés à la fin du troisième chapitre, et dont les critères ont été définis lors des réunions avec le maître d'ouvrage. Après le choix du type de structure par le maître d'ouvrage, la définition des matériaux et des techniques de réalisation, tout ceci a permis de déterminer les solutions constructives les mieux adaptées et les plus efficaces pour notre projet.

Les synthèses font ressortir une base de comparaison technique et un bilan estimatif des deux solutions structurelle bois-béton.

Sur le plan personnel ce travail m'a permis de découvrir la conception des structure en bois, et m'a conforté dans mon envie de continuer à travailler dans le secteur de la construction « bois – béton », et plutôt dans le domaine de la conduite des travaux.

Avec ce projet j'ai pu développer mes connaissances pour cet élément de construction moins connu qu'est le bois, j'ai pu voir tous les étapes de la conception à la réalisation d'une structure à ossature bois.

Enfin ce mémoire a donc été le fruit d'un travail excitant et captivant : d'une part sur le plan technique, et d'autre part sur les enjeux économiques en rapport direct avec ce matériau de construction qu'est le bois.

**PRINCIPAUX SYMBOLES ET NOTATIONS DE L'EUROCODE 2 « BÉTON »**

$A_{s,min}$  : Aire de la section minimale d'armatures  
 $A_{sw}$  : Aire de la section des armatures d'effort tranchant  
 $A_{sL}$  : représente la section d'armatures longitudinales dépassant.  
 $M_{Ed}$  : Valeur de calcul du moment fléchissant agissant  
 $V_{Ed}$  : Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant  
 $V_{Rd,c}$  : Effort tranchant résistant en absence des armatures transversales  
 $V_{Rd,s}$  : Effort tranchant de calcul pouvant être repris par les armatures transversales  
 $V_{Rd,max}$  : Effort tranchant maxi pouvant être repris par le béton avant écrasement des Bielles de compression.  
 $\nu$  : Coefficient de Poisson  
 $f_c$  : Résistance en compression du béton  
 $f_{cd}$  : Valeur de calcul de la résistance en compression du béton  
 $f_{ck}$  : Résistance caractéristique en compression du béton, mesurée sur cylindre à 28 jours  
 $f_y$  : Limite d'élasticité de l'acier de béton armé  
 $f_{yd}$  : Limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé  
 $f_{yk}$  : Limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé  
 $f_{ywd}$  : Limite d'élasticité de calcul des armatures d'effort tranchant  
 $\gamma_c$  : Coefficient partiel relatif au béton  
 $\gamma_s$  : Coefficient partiel relatif à l'acier de béton armé  
 $\rho_w$  : Pourcentage d'armatures longitudinales

**PRINCIPAUX SYMBOLES ET NOTATIONS DE L'EUROCODE 5 « BOIS »**

$\sigma_{m,d}$  : Contrainte de flexion  
 $\sigma_{c,o,d}$  : contrainte de compression  
 $M_{f,y}$  : Moment de flexion, pour une poutre sur deux appuis avec une charge  
 $f_{m,k}$  : contrainte caractéristique de la résistance en flexion en MPa  
 $f_{m,d}$  : contrainte de résistance en flexion  
 $k_{mod}$  : coefficient modificateur en fonction de la charge de plus courte durée  
 $\gamma_m$  : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.  
 $k_{sys}$  : coefficient d'effet système est égal à «1» par sécurité  
 $k_h$  : coefficient de la hauteur est égale à «1»  
 $K_{crit}$  est le facteur qui tient compte de la réduction de résistance due au déversement, peut être pris égal à « 1 »  
 $f_{c,o,k}$  : Contrainte de compression axiale en MPa  
 $f_{v,k}$  : Contrainte de cisaillement en MPa  
 $E_{0,mean}$  : Module moyen axial en MPa  
 $E_{0,05}$  : Module axial au 5<sup>e</sup> pourcentage en MPa  
 $\rho_k$  : Masse volumique carac en kg/m<sup>3</sup>  
 $k_{def}$  : coefficient de fluage de 0.6 (bois et local chauffé)  
 $\Psi_2$  : coefficient de simultanéité 0.3 (charge d'exploitation dans un local d'habitation).  
 $k_f$  : Coefficient de forme  
 $h_{ef}$  : hauteur réelle exposée au cisaillement  
 $b_{ef}$  : épaisseur de la pièce efficace  
 $A_{fi}$  : Section résiduelle  
 $F_{vd}$  : effort tranchant  
 $T_d$  : Contrainte de cisaillement  
 $d_{ef}$  : épaisseur de carbonisation efficace  
 $d_0$  : épaisseur de carbonisation à la flamme

**ANNEXE 1 : BILAN ESTIMATIF DES SOLUTIONS BOIS - BETON**



## ANNEXE 2 : SYNTHÈSE GÉNÉRALE

## **ANNEXE 3 PLANNING PREVISIONNEL DES TRAVAUX**

## ANNEXE 4 : LES PLANS DU PROJET

## GLOSSAIRE

(Les termes sont signalés dans le texte par un astérisque)

**Aubier** : est la partie de l'arbre juste sous l'écorce, généralement tendre et blanchâtre.

**Anticryptogamique** : Qui combat les maladies cryptogamiques (provoquées par les champignons).

**Anisotropique** : Se dit d'un corps dont les propriétés varient suivant la direction. La prise en compte de l'anisotropie est essentielle pour la conception et le dimensionnement d'une structure en matériaux composites car son comportement sera très différent de celui d'une structure isotrope de géométrie identique

**Bois feuillus** : sont des arbres produisant des feuilles bien développées, par opposition aux conifères ou résineux dont la forme des feuilles est réduite à des aiguilles.

**Curative** : traitement préventif qui a pour objet ou pour propriété de guérir.

**Cryptogamique** : Une maladie cryptogamique est une maladie causée à une plante par un champignon ou un autre organisme filamenteux

**Capillarité** : Le phénomène de la capillarité désigne ordinairement la capacité de l'eau et de certains liquides à monter naturellement malgré la force de gravité le long des parois ou de tubes.

**Chlorophénols** : Substances entrant dans la composition des produits utilisés pour la conservation du bois

**Clos couvert** : Se dit pour des constructions ou des ouvrages hors d'eau et hors d'air, qui offrent une protection, au moins partielle, contre les agressions des éléments naturels extérieurs.

**Contreventement** : élément de la construction destiné à assurer la rigidité et la stabilité d'une structure notamment lors d'effort au vent.

**Energie primaire** : C'est la première forme de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique.

**Elastique fragile** : Comportement d'un matériau qui est susceptible rompre très rapidement dès le dépassement de sa limite élastique.

**Elastoplastique** : Se dit lorsqu'une pièce « bois » soumise à une force de compression supérieure à un certain niveau ne reprend pas ses dimensions primitives après retour au repos.

**Frein-vapeur** : matériau qui ralentit les flux de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur

**Fluage** : c'est un phénomène physique qui provoque la déformation irréversible d'un matériau soumis à une contrainte constante (notée  $\sigma_0$ ), inférieure à la limite d'élasticité du matériau, pendant une durée suffisante.

**Hygroscopique** : se dit d'un matériau qui a tendance à absorber l'humidité.

**L'inertie thermique** : est la capacité physique d'un matériau à conserver sa température.

**Lien intemporel**: lien éternel

**Insufflation** : action de faire entrer une substance « gaz, liquide... » dans un organe ou une cavité à l'aide du souffle.

**LVL lamibois** : bois reconstitué à partir de lamelles collées et redécoupées (Laminated Veneer Lumber). Matériau à vocation essentiellement structurelle, (épaisseur unitaire de l'ordre de 3mm),

**Monomur** : c'est une brique en terre cuite de couleur orangée. Elle présente une grande quantité d'alvéoles qui facilitent la capture de l'air et augmente son pouvoir isolant.

**Boisage Œnologique** : bois destiné à la fabrication tonneaux pour la conservation du vin.

**Photo dégradation** : dégradation de certaines matières plastiques sous l'action des rayons ultraviolets.

**Photovoltaïque** : L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue en convertissant une partie de l'énergie du rayonnement solaire en électricité.

**Perspirantes** : les parois à ossature bois présentent la particularité intéressante de laisser migrer la vapeur d'eau à travers les éléments qui la constituent tout en restant étanche à l'air, ainsi dans une maison à ossature bois, l'enveloppe du bâti autorégule naturellement l'hygrométrie.

**Protection inhérente à la construction** : c'est une protection liée d'une manière intime, propre et nécessaire à la construction.

**Rétractabilité** : Propriété du bois de varier dans ses dimensions en fonction de son humidité.

**SHON** : La Surface Hors d'œuvre Nette elle correspond à la Surface Habitable à laquelle on rajoute l'emprise (l'épaisseur) des murs. SHON  $\neq$  Surface habitable

## BIBLIOGRAPHIE

### OUVRAGES

**Eurocode 2 Conception et calcul des structures en béton armé.**

**Eurocode 5 Conception et calcul des structures en bois.**

- NF EN 1995-1-1 (Novembre 2005)
- NF EN 1995-1-2 (Septembre 2005)
- Guide Eurocodes « action du feu sur les murs et planchers bois », de Menad Chenaf Xavier Duponchel, Dhrouis Dhima (CSTB)

**Conception des structures**

Web : projet d'habitat durable dans le neuf ou dans l'ancien, publier 10 Jan 2012

**Construire en bois**

- Choisir concevoir réaliser de Karl Heiz Götz - Kart Möhler - Dieter Hoor, Julius Natterer.
- Construire en bois de Michael Volz - Thomas Herzog - Wolfgang Winter Julius Natterer - Roland Schweitzer.
- Maison en bois du rêve à la réalité de Pascal D'ERM
- Charpentes Françaises, édition octobre 2009

**Construction de maison à ossature bois**

De Y. Benoit – T. Paradis Eyrolles 2007

**Bois, matières et matériaux**

De Dubois Petroff. Éditions Massin 2007

**Bois systèmes constructifs, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes**

De Josef Kolb.

**Bois dans le contexte des matériaux de construction**

De P. Triboulot – B. Reitz.

**Sécurité contre l'incendie des bâtiments d'habitation, législation et réglementation**

Les éditions des journaux officiels

### ARTICLES

**Eléments de béton armé ; Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris**

Joseph PAIS

**Matériaux bois et dérivés du bois ; technique de l'ingénieur, structures et caractéristiques**

Marie-Christine Trouy – Triboulot Pascal

**Construction de maisons à ossature bois**

Yves Benoît – Thierry Paradis -Groupe Eyrolles et le CTBA

**Construction à ossature bois**

Certu – CETE de Lyon

Gofosat

**Modélisation comportement mécanique du bois**

Mohssine Moutee

## **Evaluation des ressources forestières mondiales – Étude FAO: FORÊTS**

### **Filière bois en France : Document presse, Xerfi/France**

- Perspective de croissance à l'horizon 2015
- Le médiateur du monde économique - analyse du jeu concurrentiel et des enjeux de la filière bois

### **Les essentiels du bois : performance thermique et économies d'énergie**

Publication conjointe du CNDB Française et du FIF Suédoise

### **Les essentiels du bois : construction en bois et sécurité incendie**

Publication conjointe du CNDB Française et du FIF Suédoise

### **Les essentiels du bois : construire en bois un choix durable**

Publication conjointe du CNDB Française et du NTC (Nordic Timber Council)

### **Les essentiels du bois : confort acoustique**

Publication conjointe du CNDB Française et du NTC (Nordic Timber Council)

### **Etude Européenne – bois construction**

CSTB – Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer

### **CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Aménagement)**

- Panneaux OSB
- Panneaux de contreplaqué
- Panneaux de particules
- Panneaux de fibres

### **Bâtiments basse consommation**

- Web : document EDF/AITF
- Web : document Effinergie
- Web : document Sto Therm Classic

## **NORMES**

DTU 31.2 : Construction des maisons et bâtiments à ossature en bois.

DTU 51.3 : Planchers en bois ou en panneaux dérivés de bois.

DTU 51.11 : Pose flottante des parquets et revêtement de sol contrecollés à parement bois.

DTU BF 88 : Règle bois feu.

NF EN 335 : Classe de risque des bois.

NF EN 338 : Bois de structure, classe de résistance.

NF EN 519 : Détermination de la classe de résistance mécanique des bois

NF EN 52-001 : Détermination de la classe de résistance visuelle du bois.

NF EN 1995-1-1 ; Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Règles communes et règles pour les bâtiments.

NF EN 1995-1-2 ; Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois au feu.

Règles HT-I : Caractérisation de l'inertie thermique des bâtiments, Règlementation thermique