

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER en Génie Civil**

Spécialité : Efficacité Energétique dans les bâtiments de constructions

Par : BOUKHATEM Lahcene et BELHADJ Mohammed El Amine

Sujet

Les atouts écologiques du bois dans la construction (étude de cas)

Soutenu publiquement, le **26 / 06 / 2022** , devant le jury composé de :

Abdennasser Chekroun	Maître de conférence. A	UAB. Tlemcen	Président
Abdessamad Lobyed	Maître de conférence. A	UAB. Tlemcen	Examineur
Hachimi Dahhaoui	Chef de projets ENR	DAL. Tlemcen	Encadrant

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Avec l'aide de **Dieu** tout puissant, on a pu accomplir ce modeste travail.*

Ce mémoire n'a pu voir le jour sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que nous souhaitons ici vivement remercier :

*Docteur, **Hachimi DAHHAOUI**, notre encadrant, pour ses corrections évolutives du travail ainsi que l'esprit d'initiative et de recherche qu'il a su nous transmettre.*

*Docteur, **Chekroun ABDENNASSER** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence du jury.*

*Docteur, **Abdessamad LOBYED** pour avoir accepté de juger ce travail.*

Dédicaces

*Je dédie ce travail à **Mes parents** qui ont tout fait pour me permettre la réussite dans la vie, **hbiba et mima** [Allah yarhamhoum], mon **frère**, et mes **sœurs**, à toutes ma famille sans exception.*

*Je dédie ce modeste travail à **hbiba** [**BOUKHATEM SETTI**]
Allah yarhamha inchallah.*

شكرا لمن ساندني و دعمني و وقف معي و شجعني كلماتي لا توفي حقوقكم... فشكرا لكم

*À mon binôme **BELHADJ MOHAMMED EL AMINE***

Pour finir,

سبحان الله وبحمده سبحان الله العظيم

BOUKHATEM LAHCENE

Dédicaces

*Je dédie ce travail à **Mes parents** qui ont tout fait pour me permettre la réussite dans la vie.*

*A mes **frères**, mes **sœurs***

*A toutes ma **famille** sans exception.*

*A Mon binôme **BOUKHATEM LAHCENE***

A tous mes amis

*A tous les **Enseignants** du département de génie civil qui m'ont aidé durant mon cursus universitaire.*

Pour finir :

الحمد والشكر لله على النجاح وبنعم الله علينا وعلى سائر عبادہ , فإنها مهما حاولنا حصرها لا تعد ولا تحصى،
هذا بجانب أن يسر لنا الله النجاح والفلاح لنستكمل مسيرتنا والتي أساسها شكره

BELHADJ MOHAMMED EL AMINE

RESUMÉ

L'utilisation du bois comme matériau de construction a de nombreux avantages, entre autres environnementaux et écologiques selon la littérature. Ce mémoire a pour objectif l'étude des atouts de ce matériau dans le secteur de la construction.

Dans un premier temps, une étude comparative entre deux habitations va être menée, en se basant sur un bâtiment en bois fonctionnellement équivalent à un bâtiment de référence existant bâti en béton armé. Ensuite une étude de cas sur un projet de construction d'un complexe touristique en bois au bord de la mer (plage de Bider- Tlemcen) va être présentée. Les résultats obtenus montrent la validité de la relation inversement proportionnelle entre les émissions de gaz à effet de serre et la consommation de l'énergie comparativement au pourcentage d'utilisation du bois dans un projet de construction.

Les mots clés : Bois, Béton , Ecologie, Projets de construction.

ملخص

استخدام الخشب كمادة بناء له العديد من المزايا، من بين أمور أخرى بيئية أو إيكولوجية بمعنى آخر. تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة مزايا هذه المادة في قطاع البناء. في البداية، تم إجراء دراسة مقارنة بين مسكنين، بناءً على مبنى خشبي مكافئ وظيفيًا لمبنى مرجعي قائم مبني بالخرسانة المسلحة. ثم تم تقديم دراسة حالة عن مشروع بناء مجمع سياحي خشبي على البحر (شاطئ بيدر تلمسان). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها صحة العلاقة التناسبية العكسية بين انبعاثات غازات الاحتباس الحراري واستهلاك الطاقة مقارنة بنسبة الخشب المستخدم في مشروع البناء.

الكلمات المفتاحية: الخشب، الخرسانة، البيئة، مشاريع البناء.

SUMMARY

The use of wood as a building material has many advantages, among others environmental and ecological according to the literature. The purpose of this dissertation is to study the advantages of this material in the construction sector.

Initially, a comparative study between two dwellings was carried out, based on a wooden building functionally equivalent to an existing reference building in reinforced concrete. Then a case study on a project to build a wooden tourist complex on the seaside (Bider-Tlemcen beach) was presented. The results show the validity of the inversely proportional relationship between greenhouse gas emissions and energy consumption compared to the percentage of wood use in a construction project.

Key words: wood, concrete, environment, construction projects.

SOMMAIRE

Remerciements	.....	I
Dédicaces	.....	II
Résumé	.....	IV
المخلص	.....	V
SUMMURY	.....	VII
Liste des figures	.....	VIII
Liste des tableaux	.....	IX
Nomenclature	.....	XIII
Introduction générale	.....	1

Chapitre I. Généralités sur le bois (matériaux de construction)

I.1. Introduction.....	3
I.2. Etude macroscopique du bois	3
I.3. Production du bois	4
I.4. Les différentes classes de bois et leurs types	5
I.5. Caractéristiques des bois.....	7
I.5.1. Propriétés mécaniques.....	7
I.5.2. Durabilité.....	8
I.5.3. Isolation.....	8
I.5.4. Résistance chimique	8
I.5.5. Aptitudes de biodégradabilité	9
I.5.6. Propriétés thermique	9
I.5.7. Résistance.....	10
I.6. Les techniques de construction	10
I.6.1. Technique de construction par bois massif	10
I.6.2. Le colombage	12
I.6.3. Technique d'ossature bois.....	12
I.6.4. Technique poteau-poutre.....	14

SOMMAIRE

I.7. Aspects économiques	15
I.8. Aspects écologiques	15
I.9. Conclusion	17

Chapitre II. Etude comparative entre une habitation à ossature en bois et habitation à ossature en béton armé

II.1. Introduction	19
II.2. Hypothèse de l'étude	19
II.3. Description des deux bâtiments (bois versus béton)	19
II.4. Spécificités techniques des bâtiments.....	20
II.5. Matériaux utilisés	22
II.6. Consommation des matériaux dans le deux bâtiments	22
II.7. Etude de l'impact de la construction	25
II.8. Comparaison du profile environnemental du bâtiment bois versus béton.....	30
II.9. Conclusion.....	31

Chapitre III. Démarche contemporaine pour un projet de construction des chalets en bois

III.1. Introduction	32
III.2. Le contexte du projet.....	32
III.3. Position géographie du projet.....	33
III.4. Limites générales et contraintes du projet.....	34
III.4.1 Apercus sur la nature géotechnique du projet	42
III.4.2 Aspects techniques du projet	44
III.5. Conclusion.....	48

Conclusion générale... ..	49
----------------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIES	50
-----------------------------	-----------

Liste de figure

Chapitre I

Figure I.1 : Diverses parties formant la section transversale d'un tronc d'arbre.....	4
Figure I.2 : La production mondiale de bois.....	4
Figure I.3 : Une essence de bois (L'azobé).....	6
Figure I.4 : Poutres en chêne.....	6
Figure I.5 : Maison ossature bois l'Acacia.....	7
Figure I.6 : Compression parallèle au fil.....	7
Figure I.7 : Flexion.....	7
Figure I.8 : Une cuve en bois.....	9
Figure I.9 : Temple japonais en bois.....	10
Figure I.10 : La barque en bois de cèdre.....	10
Figure I.11 : Exemples de bois massif d'ingénierie.....	11
Figure I.12 : Structure générale de la maison à colombage : bois courts (à gauche) ; bois longs (à droite).....	12
Figure I.13 : Les murs à ossature bois.....	13
Figure I.14 : La structure poteau-poutre.....	14

Chapitre II

Figure II.1 : Illustration 3D du bâtiment de référence construit en béton.....	20
Figure II.2 : batiment equivalent du point de vue fonctionnel, construit en bois.....	21
Figure II.3 : Détails de l'assemblage colonne-dalle (bois-béton) et poutre-colonne (bois-bois).....	21

Liste de figure

Figure II.4 : Transport du bois De la wilaya de Blida	25
Figure II .5 : Transport de béton de la région de Remchi	25
Figure II.6 : Distance de transport des matériaux de construction vers le site de construction	26
Figure II.7 : Comparaison des impacts environnementaux bâtiment en bois versus bâtiment en béton; analysés avec la méthode TRACI	31
 Chapitre III	
Figure III.1 : Position géographique de la commune de MSirda Fouaga.....	33
Figure III.2 : Position géographique Tlemcen	33
Figure III.3 : Schéma des contraintes du projet.....	34
Figure III.4 : Les cas d'équilibre des trois contraintes.....	35
Figure III.5 : Isolation de mur par l'intérieur.....	41
Figure III.6 : Plan schématique d'implantation des points des sondages carotté et préssiométrique	44
Figure III.7 : Plan de réalisation du projet	45

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau II.1. Les différentes classes de bois et leurs types	5
---	---

Chapitre II

Tableau II.1. Tableau de dimensions	19
Tableau II.2. Liste des principaux matériaux	22
Tableau II.3. Inventaire des matériaux de construction.....	23
Tableau II.4. Consommation énergétique en phase de construction.....	26
Tableau II.5. Pourcentage et quantité de déchets générés	27
Tableau II.6. Catégories d'impacts.....	30

Chapitre III

Tableau III.1. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF POUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION	36
Tableau III.2. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DEVIS DES ÉQUIPEMENTS	37
Tableau III.3. Tableau des photos	46

Nomenclature

CO2 : Le dioxyde de carbone

GES : Gaz à effet de serre

FAO: Environmental and social management guidelines

BMR : Bois Massif Reconstitué

CLT : Cross Laminated Timber

NLT : Nail Laminated Timber

LVL : Laminated Veneer Lumber

LSL : Laminated Strand Lumber

GLT : Glue laminated Timber

OSB: Oriented Strand Board

RDC : Rez de Chaussée

CLT : Cross Laminated Timber

Nomenclature

tkm : Tonne kilomètre, Unité de l'énergie de transport

ktkm: Kilo tonne kilomètre, Unité de l'énergie de transport

CH : Type de montant en acier

GJ : Giga joule, Unité de l'énergie

RPA 99 : REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES

NA 16002 : NORME ALGERIENNE

Introduction générale

Le bois est une ressource abondante et polyvalente utilisée par les humains depuis des siècles pour créer des maisons, des bâtiments, des outils, des meubles et d'autres produits. Il existe une variété de différents types de bois, y compris le bois dur (comme le chêne), le bois tendre (comme le pin), le bois de placage, le contreplaqué et les panneaux de particules. L'utilisation du bois peut aider à atténuer les effets du changement climatique car elle aide à réduire les émissions de dioxyde de carbone, agissant comme un puits de carbone tout au long de son cycle de vie [1].

L'écologie est une science dont l'objet est d'étudier l'interaction entre les êtres vivants et l'environnement, L'objectif est de mettre en œuvre un nouveau modèle de développement basé sur un changement fondamental dans la relation entre l'activité humaine et l'environnement [2]. Le secteur du bâtiment est présenté comme l'un des plus polluants, Responsable d'environ 40 % des émissions de gaz à effet de serre et de 38 % de la consommation d'énergie mondiale [3].

Ce qui nous préoccupe aujourd'hui, c'est l'éco-construction de bâtiments verts dont le bois biosourcé représente l'un des meilleurs matériaux utilisés comme matière première naturelle pour atteindre les objectifs de réduction de GES sur l'environnement [4]. Dans la construction, le bois retient jusqu'à 1 tonne de CO₂ par mètre cube, soit 15 à 20 tonnes de CO₂ captées pour une maison en bois de taille moyenne [5]. De plus, il est léger, ce qui améliore l'énergie consommée pour la transformation, le transport et l'exécution [5]. Aussi, Les chantiers de construction en bois ne gaspillent pas l'eau, une ressource rare dans certaines parties du monde [5]. Parmi les laboratoires qui ont étudié l'impact environnemental des matériaux biosourcé (Le lab recherche environnement VINCI ParisTech) [6].

Les types de constructions écologiques en bois et leurs différentes fonctions sont passionnants et méritent d'être explorés plus avant car ils peuvent être utilisés pour ajouter la simplicité et la fonctionnalité à n'importe quel environnement, ainsi leur popularité indique que les gens les trouvent esthétiquement agréables [7], par exemple (École primaire Sans-Frontières) [8], permettant l'optimisation du coût et le délai de réalisation.

Ce projet de fin d'étude comporte une partie bibliographique sur l'état de l'art d'utilisation de bois comme matériau de construction et ses avantages économiques et écologiques, ensuite une étude comparative entre l'utilisation du bois versus le béton armé est exploré avant de montré l'étude de cas d'un projet récent en cours de réalisation à la plage de Bider. Ce document est composé de trois chapitres:

Introduction générale

Le premier chapitre, présente des définitions ainsi que les types et les caractéristiques du bois dans le secteur de la construction. Nous exposons également les techniques de construction en bois et ses effets de point de vue économique et écologique.

Le deuxième chapitre, est consacré pour une étude comparative entre une habitation à ossature en bois et habitation à ossature en béton armé. Cette analyse comparative montre la différence d'impact sur l'environnement pour chaque type d'habitation.

Le troisième chapitre est le dernier chapitre montre une présentation d'un projet de construction de chalets en bois sur la plage de Bider, Tlemcen. Cette étude de cas a pour objectif de discuter les limites et contraintes générales de ce dernier, à savoir l'étendue, le coût, les délais, les risques et ses ressources potentielles.

Chapitre I

Généralités sur le bois
(matériaux de construction)

I.1. Introduction :

Le bois est utilisé comme matériau de construction depuis des milliers d'années, et son histoire riche et savante dans le monde de la construction est la deuxième après la pierre. La chimie du bois est intrinsèquement complexe, mais malgré les défis, les humains ont réussi à exploiter sa chimie. Les propriétés uniques du bois permettent de construire une variété apparemment illimitée de structures [9]. Ce matériau polyvalent est couramment utilisé pour construire des maisons, des abris et des bateaux, mais il est également largement utilisé pour fabriquer des meubles et des décorations pour la maison.

L'un des plus grands avantages de l'utilisation du bois comme matériau de construction est probablement qu'il s'agit d'une ressource naturelle, ce qui le rend facilement disponible et économiquement viable, car il est très lourd et offre une bonne isolation contre le froid, le bois est facile à traiter et peut être fabriqué en bois avec Disponible dans toutes les formes et tailles pour répondre à presque tous les besoins de construction, le bois est un excellent exemple de produit écologiquement durable, car il est biodégradable, renouvelable, a la plus faible empreinte carbone et de faibles émissions de carbone de tous les matériaux de construction similaires [10]. De plus, contrairement à d'autres matériaux de construction courants tels que la brique, l'acier ou le plastique, la production de bois ne nécessite pas de combustibles fossiles à haute énergie, c'est-à-dire que son processus de production est peu coûteux.

I.2. Etude macroscopique du bois :

L'étude à l'échelle macroscopique du bois peut être résumé par la section transversale complète d'un tronc (Figure I.1.) et permet de mettre en évidence les trois parties plus ou moins distinctes que sont :

- ❖ **L'écorce** : qui sert de couche protectrice au tronc [11].
- ❖ **L'aubier** : partie partiellement vivante de l'arbre qui assure, au niveau de l'assise génératrice, l'approvisionnement en sève de l'arbre. Cette partie est formée des premiers cernes se trouvant derrière l'écorce. Son épaisseur est fonction de l'essence [11].
- ❖ **Le duramen** : appelé également « bois de cœur » ou « bois parfait ». Il s'agit de la partie centrale du tronc où les vaisseaux sont obstrués par divers dépôts tels que du tanin, des colorants, des résines, etc. Le processus durant lequel les vaisseaux sont bouchés, appelé duraminisation, est plus ou moins marqué et peut s'accompagner de modifications importantes de la couleur du bois.[12]

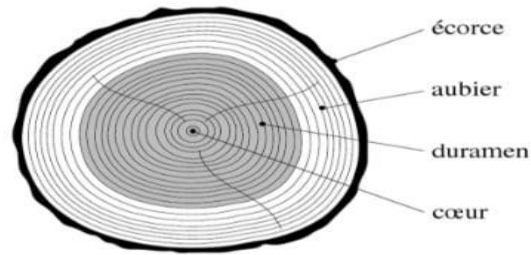


Figure I.1. Diverses parties formant la section transversale d'un tronc d'arbre [12]

I.3. Production de Bois :

La forêt est à l'origine du cycle du bois. Elle assure, en plus de la production du bois, de nombreuses fonctions importantes pour notre société et son développement durable. L'utilisation du bois et la sylviculture influencent autant nos forêts et nos paysages que la qualité du bois. La forêt peut être vue comme le capital dans le cycle du bois et permet, avec une utilisation appropriée, d'accumuler des intérêts. [13]

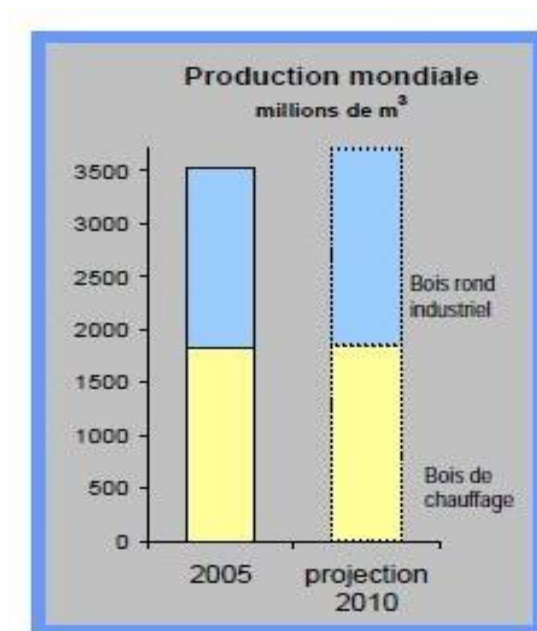


Figure I.2. La production mondiale de bois [14]

La production mondiale de bois est de 3,402 milliards de mètres cubes par ans. Alors que la population mondiale explose et que les revenus augmentent, la demande de produits forestiers continuera de croître.

Selon la FAO, la consommation mondiale de bois rond industriel dépassera les niveaux de 2001 de 60 pour cent, atteignant environ 2,4 milliards de mètres cubes d'ici 2030 (Figure I.2.).[14]

I.4. Les différentes classes de bois et leurs types :

Les différents types de bois sont classés en plusieurs catégories en fonction de leur densité, allant du plus léger au plus dur (Tableau I.1).

Tableau I.1. Les différentes classes de bois et leurs types. [15]

LA CLASSE	LE TYPE
A	Correspond aux bois légers dont le peuplier, le sapin, le pin et l'aulne.
B	comprend les beaux bois pour les meubles comme le noyer, le teck ou encore le bouleau.
C	Représente les bois les plus solides, les bois classiques tels que le chêne, le frêne, l'orme et l'acacia.
D	Reprend les bois les plus durables, on y trouve l'acacia foncé, le wengé et le azobé.

Dans cette section on aborde les bois les plus durables dans le temps c'est à dire l'ensemble du bois destiné à la construction en raison de ses caractéristiques exceptionnelles, notamment :

❖ L'azobé :

Offre une grande résistance à l'humidité, il est majoritairement utilisé pour constructions destinées à l'extérieur. Il peut également servir pour la menuiserie intérieure comme les escaliers ou les parquets. Il offre une couleur rouge foncé avec des reflets violets, ce qui apporte une touche de couleur à votre intérieur ou extérieur (Figure I.3.). [16]



Figure I.3. Une essence de bois (L'azobé) [16]

❖ **Le chêne :**

C'est un bois dur, homogène, solide, durable, stable et facile à travailler. Sa couleur foncera avec le temps. Il peut être utilisé à l'intérieur et à l'extérieur. Du traditionnel au contemporain en passant par le rustique, les produits en chêne rehausseront tous les styles de décor (Figure I.4.). [17]



Figure I.4. Poutres en chêne [17]

❖ **L'acacia :**

Nommé " Teck d'Europe". Il est principalement utilisé pour la construction extérieure avec une excellente durabilité, mais peut également être utilisé pour les meubles et les parquets (Figure I.5.). [18]



Figure I.5. Maison ossature bois l'Acacia [19]

I.5. Caractéristiques des bois :

En raison de sa légèreté et de sa flexibilité, le bois a de nombreux avantages, son tassement est plus faible et absorbé par la structure bois sans conséquences notables (fissures). Son coût est réduit pour les nouvelles constructions, en particulier sur les terrains difficiles ou en pente. Cette section aborde le maximum de propriétés qui caractérise ce matériau notamment :

I.5.1. Propriétés mécaniques :

Le bois est très résistant à la compression (Figure I.6.), à la traction dans le sens des fibres, et est très résistant à la flexion transversale (Figure I.7.) [20]. Mais s'il ne casse pas, il se pliera si la partie sujette à la flexion (arbalète, poutre) a une section insuffisante. En compression, les problèmes de flambage liés à la flexibilité du bois, doit être résolu par un rapport hauteur-largeur relativement petit. La résistance à la compression du bois est très élevée. A résistance égale, le bois nécessite une section plus grande que l'acier ou le béton.[20]

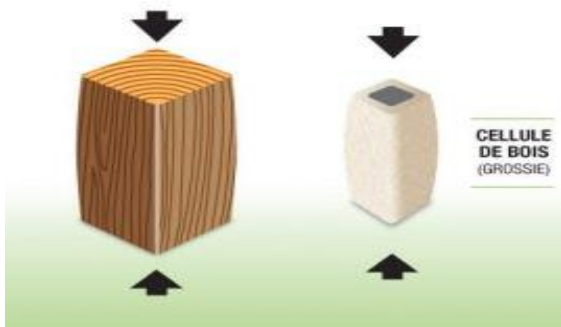


Figure I.6. Compression parallèle au fil [21]

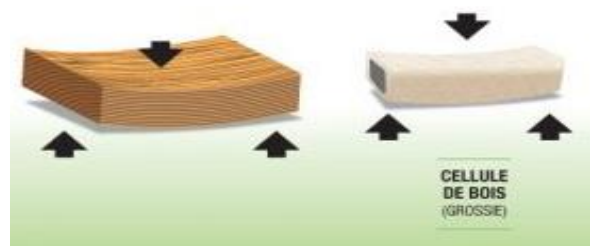


Figure I.7. Flexion [21]

I.5.2. Durabilité :

Par rapport aux matériaux de construction concurrents tels que le métal, le plastique, la pierre et le béton, le bois offre une série d'avantages, principalement le fait qu'il s'agit d'une ressource renouvelable, et en tant que produit naturel, l'approvisionnement en bois peut être réalisé par la plantation de nouveaux arbres et gestion durable Des forêts à renouveler. Lorsque son utilisation comme matériau de construction, le bois peut également être réutilisé ou recyclé.[22]

I.5.3. Isolation :

Les constructions en bois sont réputées pour leur isolation thermique et phonique. En plus d'être naturelle et écologique, la fibre de bois est avant tout un excellent isolant. Le bois massif est aussi connu pour être un remarquable isolant acoustique, notamment contre le bruit extérieur. [23]

Le bois, un excellent matériau isolant, même si le bois est 12 à 15 fois plus isolant que le béton, il n'est techniquement pas isolant. En effet, l'excellente performance thermique des maisons à ossature bois découle des techniques mises en œuvre dans la construction. Ainsi, contrairement aux structures en béton où l'isolation est ajoutée aux murs, l'isolation d'une maison à ossature bois est placée dans l'épaisseur des murs. Matériau peu conducteur, le bois ne laisse passer ni la chaleur ni la fraîcheur. Il a également une faible inertie thermique, c'est-à-dire qu'il stocke très peu de chaleur (froide ou chaude) et peut récupérer progressivement.[24]

Depuis des siècles, le bois est considéré comme un matériau aux propriétés acoustiques uniques. Pour ces raisons, le bois est un matériau courant pour la fabrication d'instruments de musique et la construction d'espaces de représentation. Dans les bâtiments commerciaux et résidentiels, l'acoustique des matériaux comme le bois est également un enjeu important, car de nombreux propriétaires rechercheront un bon confort acoustique.[24]

I.5.4. Résistance chimique :

Bien que le bois ait des propriétés oxydantes d'une certaine manière, ce n'est pas le type d'oxydation que l'on trouve dans les métaux, les métaux rouillent et le bois ne rouille pas, il résiste bien aux attaques chimiques, mieux que le béton de bois ou l'acier commun. Pour de telles caractéristiques, il est préférable d'utiliser du bois pour éviter la rouille si nécessaire [25]. Les bois comme le teck, l'afzelia doussié, sont utilisés pour la fabrication de cuves (Figure I.8.) contenant certains produits chimiques.



Figure I.8. Une cuve en bois [26]

I.5.5. Appétitudes de biodégradabilité :

Le bois qui a été utilisé dans la construction peut toujours être coupé et réutilisé pour d'autres projets de construction ou de rénovation domiciliaire. Même à la fin de son cycle de vie, le bois n'a besoin d'aucun traitement spécial pour restituer ses nutriments au sol - s'il est placé dans de bonnes conditions, il se décomposera naturellement, ce qui le rend également idéal pour le compostage. En revanche, les plastiques peuvent mettre jusqu'à 1 000 ans à se décomposer, et le recyclage ou le décyclage de l'acier et du béton nécessite beaucoup d'énergie, bien que moins que la production d'énergie nouvelle à partir de matériaux vierges.[22]

I.5.6. Propriétés thermiques :

En raison de sa faible conductivité thermique, le bois transfère la chaleur 12 fois plus lentement que le béton, 250 fois plus lentement que l'acier et 1 500 fois plus lentement que l'aluminium. Lors de la combustion, une couche de carbonisation se forme à la surface du bois : la couche isolante est 8 fois celle du bois naturel, et cette couche ralentit la combustion du matériau (0,7 mm par minute par face). Les ossatures en bois et les poutres de colonne conservent leurs capacités mécaniques plus longtemps.[27]

En raison de sa conductivité thermique plus faible, la charpente en bois prend plus de temps à intervenir que les structures en béton ou en acier. Des atouts supplémentaires pour les constructions en bois, qui ont tendance à se multiplier, notamment dans les bâtiments collectifs.[27]

I.5.7. Résistance :

Le bois est bon pour la construction de bâtiments car il est léger et résistant, il résiste mieux aux mouvements du sol et donc aux effets du temps. Des bâtiments en bois bien entretenus peuvent durer des décennies, voire des siècles. Par exemple, un ancien navire solaire égyptien datant de 2 500 ans a été retrouvé en parfait état (Figure I.10.). Au Japon, il est même possible d'observer et de visiter des temples japonais en bois datant du 7ème siècle (Figure I.9.).[28]



Figure I.9. Temple japonais en bois [29]



Figure I.10. La barque en bois de cèdre [30]

I.6. Les techniques de construction :

Le bois est un matériau d'une grande souplesse d'utilisation et d'une variété infinie de mises en œuvre. Cela permet une grande liberté dans la conception architecturale, avec autant de styles imaginables que possible. En plus des styles, on peut également identifier quatre grandes familles de techniques, chacune avec ses avantages et ses inconvénients.

I.6.1. Technique de construction par bois massif :

Le bois massif comme son nom l'indique, il est issu de la masse de l'arbre [31], avant d'être travaillé en usine.

L'atout premier du bois massif est sa robustesse. Ce matériau offre une résistance optimale contre les champignons, les termites et les insectes [32]. Les constructions en bois massif présentent une valeur sûre, sont stables et répondent aux exigences les plus élevées en matière de qualité, de rentabilité et de durabilité écologique. [33]

Les parois verticales de ces structures sont constituées de poutres profilées, empilées et assemblées pour former des parois pleines à triple fonction : porteuse, séparatrice et isolante. C'est l'une des techniques les plus anciennes et elle est particulièrement utile dans les zones boisées à haute taïga. La section de la poutre est rectangulaire (planche) ou circulaire (rondin). La structure "Fuste" correspond à la technique d'empilage de rondins écorcés mais non calibrés, avec un contre-profil pour assurer l'étanchéité. Les planches et madriers sont en bois massif ou en bois lamellé collé (bois massif reconstitué BMR), majoritairement d'essences résineuses (sapin, épicéa, mélèze, pin, douglas), avec des épaisseurs courantes allant de 80 à 180 mm. Dans les cas de faible épaisseur, des revêtements intérieurs ou extérieurs peuvent être associés à des finitions pour améliorer l'isolation de la structure. Les planchers et les toits sont fabriqués à l'aide de techniques traditionnelles de charpente en bois. Pour ce type de construction, il faut tenir compte de l'effet de tassement vertical des parois dû à la compression latérale des rondins ou des planches sous l'action permanente de la charge (qui peut se rétracter si le bois n'est pas conçu et mis en place suffisamment sec). Le principal avantage de ce type de bâtiment est de conférer une atmosphère intérieure très chaleureuse, contrairement aux bâtiments du secteur humide (maçonnerie), car le bois est fortement hygroscopique et régule l'humidité de l'air intérieur. [34]



Figure I.11. Exemples de bois massif d'ingénierie [35]

I.6.2. Le colombage :

Le colombage est une technique de construction connue dès l'Antiquité romaine, utilisée en France à partir du Moyen Âge jusqu'au XIXe siècle. Elle est encore employée dans l'habitat en Alsace, en Sologne ou en Normandie. Ce système a évolué dans le temps, et s'est perfectionné. [36]

Ce système de construction est le plus souvent utilisé dans les zones forestières car il offre un large éventail de possibilités de construction et d'avantages économiques. Le développement des structures à pans de bois est lié à une meilleure maîtrise des systèmes d'assemblage, de sciage et de construction. [37]

La structure à pans de bois consiste à installer une charpente en bois (Figure I.12.), dans laquelle les vides, remplis d'argile mélangée à de la paille et des cailloux, forment les murs. Les pièces sont empilées les unes sur les autres dans le but de minimiser l'espace entre les éléments en bois. L'isolation de ces structures est assez basique. [38]



Figure I.12. Structure générale de la maison à colombage : bois courts (à gauche) ; bois longs (à droite) [38]

I.6.3. Technique d'ossature en bois :

Une construction est dite à ossature bois dès lors que la structure est composée de montants en bois [39]. Elle permet d'atteindre de bonnes performances énergétiques, facilement, et sans perte de surface habitable. [40]

La stabilité mécanique de cette construction est assurée par des structures autoportées en bois ou matériaux dérivé de bois. [41]

Cette technique est la plus utilisée en France et dans les grands pays industrialisés. Le procédé est directement dérivé de l'ancienne technologie du colombage, où les colonnes verticales ont des sections et des centres réduits, et les panneaux sont dérivés du bois (contreplaqué, OSB : oriented strand board, panneaux de particules) à la place de planches de support pleines, isolation Placées dans la cavité de l'ossature, les finitions intérieures et extérieures sont fixées sur les ossatures. [34]

Cette technique est idéale pour la préfabrication, qu'il s'agisse d'un panneau structurel dans la longueur d'un mur extérieur (Figure I.13.), ou d'un panneau portatif à assembler sur place. Les bâtiments ont été construits selon la technique de l'ossature plate-forme, qui implique l'installation de murs et de planchers horizontaux continus, permettant la préfabrication de petits éléments. Le bois utilisé pour les ossatures est majoritairement du bois de résine massif, les surfaces intérieures sont généralement en plaques de plâtre et l'extérieur est en bardage bois massif, mais du plâtre, de la brique ou d'autres types de revêtements peuvent également être utilisés. [34]

Le schéma ci-dessous présente le système constructif :

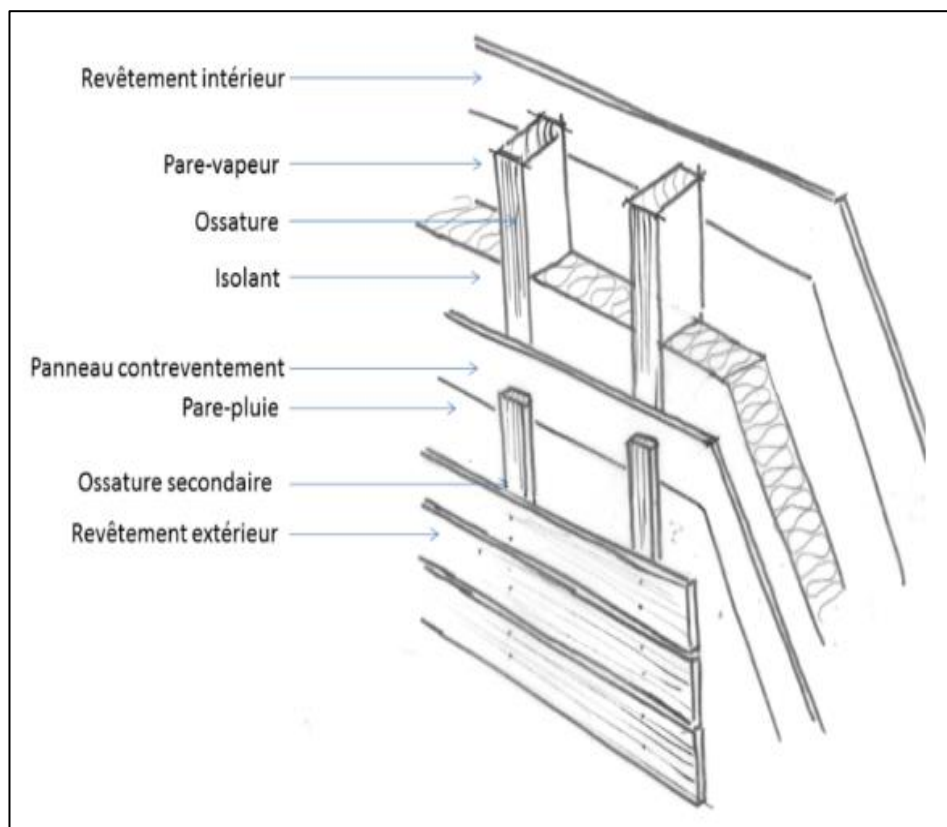


Figure I.13. Les murs à ossature bois [34]

I.6.4. Technique poteau-poutre :

Le poteau-poutre est constitué d'une structure en bois de forte section supportant la toiture et les planchers. [42]

Avec ce système il est possible de construire des bâtiments à plusieurs étages de grandes dimensions [43]. 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. [44]

Cette technique utilise des poteaux et des poutres relativement espacés et des profilés pleins, complétés par des éléments porteurs auxiliaires (solives, poutres, poteaux) qui n'ont qu'une fonction mécanique localisée pour supporter le remplissage (Figure I.14.). Par rapport aux autres techniques de construction, le poteau/poutre présente certains avantages : moins d'utilisation de bois et moins de temps nécessaire à la construction. Ce procédé est principalement utilisé dans la construction de grands bâtiments car il libère beaucoup de volume. Cette technique s'apparente aux techniques traditionnelles de construction en bois, utilisant principalement des bois d'essences résineuses, du bois massif ou du bois lamellé-collé, selon la portée et les charges à supporter. [34]

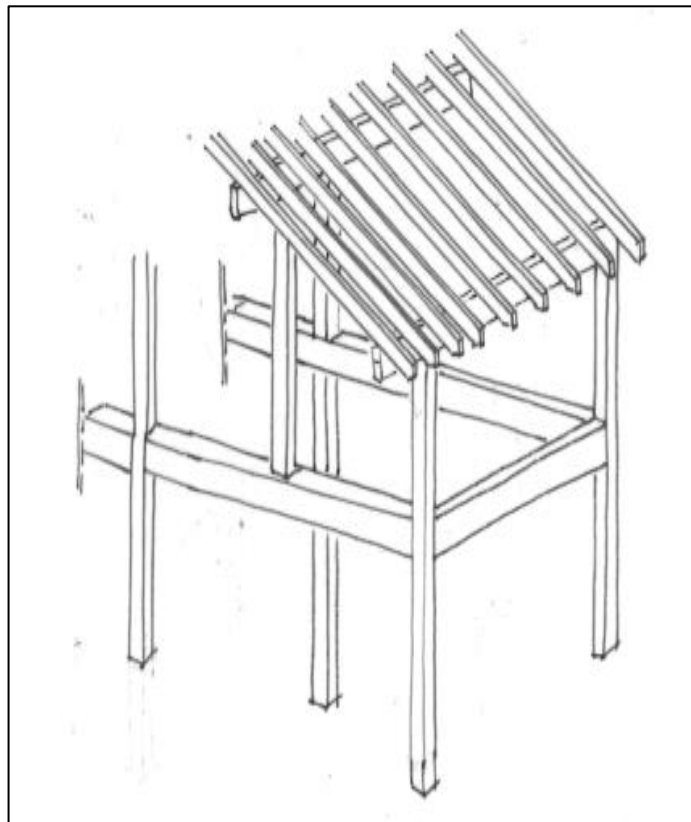


Figure I.14. La structure poteau-poutre [34]

I.7. Aspects économiques :

La préfabrication peut raccourcir considérablement la durée de construction du chantier, la construction est sèche, la décoration peut être achevée plus rapidement et l'occupation peut être immédiate. Cette rapidité permet de réduire considérablement le délai de paiement du "double loyer". La légèreté du bois permet de s'affranchir des gros engins de chantier, ce qui réduit également les nuisances (bruit, poussière) et les coûts lors de la construction. Mais la préfabrication en atelier, avec une équipe de montage aux multiples talents, représentent un véritable bouleversement des métiers du bâtiment et supposent une nouvelle forme d'organisation du chantier. [45]

Lors de la construction, selon les endroits, le bois n'est pas toujours moins cher que les matériaux traditionnels, d'autant plus qu'il y a un grand nombre d'intervenants (bûcherons, débardeurs, transporteurs, séchoirs, commerçants, scieries, grossistes, détaillants, menuisiers), tout le monde en profite, et dans certains pays, par manque de spécialistes. [45]

Avec les mêmes qualités mécaniques et une isolation thermique améliorée, les murs en bois sont 15 à 20 cm plus fins que les murs en briques. L'augmentation de la surface des maisons individuelles est estimée à 10 %. [45]

L'avantage le plus important est la réduction possible des coûts de chauffage à long terme, grâce à la réduction des ponts thermiques et à la facilité de mise en œuvre de fortes épaisseurs d'isolation entre les montants de l'ossature. [45]

Les éléments structuraux peuvent également être fabriqués sur des planches de bois. Les cadres en panneaux sont relativement économiques s'ils sont calculés correctement. [45]

I.8. Aspects écologiques :

La biologie du bâtiment a prouvé à maintes reprises que les gens se sentent mieux dans une habitation où le bois est présent en abondance. Une étude en Autriche basée sur un grand nombre de relevées individuelles a montré que les sujets vivant dans des entourages riches en bois présentaient deux fois moins de fréquence de maladies dites « de civilisation », de phénomènes de stress et de troubles psychologiques. Les résultats du test d'association ont montré que les perceptions du bien-être du bois correspondaient à une régression de 19% des performances agressives. Au cours des 50 dernières années, des matériaux de construction plus modernes aux propriétés techniques améliorées ont été continuellement développés. Cependant, jusqu'à présent, aucun matériau n'a réussi à concilier toutes les propriétés essentielles de manière aussi efficace et harmonieuse que le bois, matériau de construction biologique par excellence. [1]

D'un point de vue écologique, il existe diverses raisons pour lesquelles le bois est si bien noté. Premièrement, c'est un matériau renouvelable. S'il est bien géré, l'augmentation annuelle de la superficie forestière mondiale peut fournir à l'industrie un approvisionnement continu et sûr en matières premières. En tant que matériau, le bois répond également à l'intérêt et aux préférences humaines croissantes pour les matériaux naturels. En raison de son origine biologique dynamique, le bois respire la chaleur, la tranquillité et la sécurité. Il fournit ce que certains appellent une « connexion avec la nature ». Rares sont ceux qui contesteraient qu'il y a aliénation de la nature, la perte d'habitats naturels, dans notre société industrialisée actuelle. Cela peut entraîner un stress psychologique chez une grande partie de la population. Il s'ensuit un certain nombre de réflexes "romantiques" chez l'être humain: vacances en pleine nature, tableaux ou posters de paysages dans le salon, etc. [1]

Un autre avantage écologique du bois est qu'il peut être transformé en divers produits finis sans consommer beaucoup d'énergie. Le bilan énergétique de la transformation mécanique du bois est bien plus positif que celui des matériaux dits « synthétiques ». Combiné aux multiples possibilités de valorisation énergétique des déchets de bois, il est clair que l'industrie du bois est en mesure de répondre à la plupart de ses besoins énergétiques et n'impose donc pas de charge supplémentaire aux autres matières premières énergétiques naturelles. En général, les considérations écologiques et environnementales favorisent les produits en bois car le travail du bois à peu ou pas de problèmes de déchets ou de pollution. Les possibilités de réutilisation du bois et de recyclage des déchets de bois dans l'industrie de la transformation du bois sont bien connues (fourniture d'énergie, panneaux de particules). [1]

Outre les avantages écologiques du bois comme matière première, plusieurs caractéristiques techniques soulignent la valeur de ce matériau du point de vue de la biologie de la construction et de la psychologie de l'habitat. La raison pour laquelle le bois crée une atmosphère agréable est les stimuli sensoriels, qui proviennent du bois et affectent les gens. Dans certains cas, ceux-ci peuvent être représentés numériquement. La plus connue semble être les propriétés thermiques favorables liées à la porosité de la structure poreuse. En raison de sa composition cellulaire, le bois est un matériau poreux avec de bonnes propriétés isolantes et une faible densité. Les bâtiments en bois ont un bon bilan énergétique en raison de leur valeur intéressante. En conséquence, les coûts de chauffage et les émissions de substances de combustion nocives peuvent être réduits. D'autre part, l'utilisation du bois évite la formation de ponts thermiques, évitant ainsi la formation de rayonnement de refroidissement et de condensation. En raison de sa température de surface agréable (en contact direct avec les murs et les sols en bois), le bois est considéré comme un matériau "chaud". Une explication complémentaire de la sensation subjective de chaleur produite par le bois dans l'habitat est que l'intensité du chauffage suite au refroidissement nocturne et au rayonnement solaire est réduite et retardée. Seuls les matériaux organiques ont ces propriétés. [1]

L'effet modulateur ou « tampon » du bois sur la régulation hygrométrique résidentielle est un facteur important du confort de l'écosystème de l'habitat. L'humidité dans une maison peut être causée par un certain nombre de raisons. L'humidité de construction des nouveaux bâtiments avec des travaux traditionnels de maçonnerie, de béton et de plâtrage s'évapore lentement, perturbant ainsi l'humidité de l'air du climat de vie pendant une plus longue période. En revanche, dans le cas des systèmes constructifs en bois, même avec des éléments en bois relativement humides (déconseillés), un état d'équilibre s'établit très rapidement, entraînant une régulation énergétique équilibrée peu après la fin des travaux. Le deuxième facteur qui affecte l'hygiène de l'habitat est l'humidité générée après les activités humaines (cuisine, lessive, baignade, etc. [1])

Dans son article "L'écologie et la technologie réconciliées grâce au bois" J. Schalck (1984) déclare que la température de la surface du bois est en équilibre avec l'air à l'intérieur, qui est un environnement relativement stable et physiologiquement agréable. En raison de la faible conductivité thermique du bois, il y a peu ou pas de différence de température entre la surface du bois et l'air ambiant. Il n'est donc pas nécessaire de surchauffer l'air pour donner l'impression d'une température agréable. De plus, l'avantage de la circulation de l'air est réduit au minimum lorsque les parois et l'air ambiant ont la même température. En plus de l'absence de flux d'air, les charges statiques atmosphériques et de surfaces dues au frottement sont également réduites.

Enfin, nous nous référons à nouveau à J. Schalck, qui dans la conclusion de l'article ci-dessus a mentionné, avec la stimulation purement sensorielle, certaines propriétés techniques du bois, à l'aide de formes physiques, chimiques, biologiques, médicales et psychologiques pour décrire les propriétés de bois L'image globale est particulièrement bonne, prouvant ainsi sa valeur irremplaçable dans la création d'habitats écologiques. Le bois, un matériau naturel qui existe dans la vie sous de nombreuses formes, continuera à apporter une contribution importante à la création d'une existence culturellement et écologiquement équilibrée pour les individus.

I.9. Conclusion :

le bois est un matériau de construction naturel qui peut remplir à la fois des fonctions structurelles et esthétiques, et l'utilisation du bois dans le secteur de la construction permet de satisfaire à la fois les aspects de durabilité environnementale, économique et sociale, surtout lorsqu'il s'accompagne de la mise en place d'opérations en circuit court qui permettent l'utilisation du bois et des procédés locaux à maîtriser Gestion durable des forêts qui évite la déforestation et l'appauvrissement des territoires.

Enfin, l'utilisation du bois s'inscrit bien dans les tendances actuelles de la construction écologique car il réduit l'impact environnemental à tous les niveaux et est recyclable, renouvelable, biodégradable et exempt de composants toxiques.

Chapitre II

**Etude comparative entre une
habitation à ossature en bois et
habitation à ossature en béton
armé**

II.1. Introduction:

Ce chapitre présente une étude comparative entre deux bâtiments (bois versus béton). Le but de cette comparaison c'est d'identifier les différents profils environnementaux des deux bâtiments et les facteurs importants qui les influencent. L'étude traite un bâtiment R+5 construit en béton à Hammam Boughrara Maghnia, Tlemcen et un bâtiment fonctionnellement équivalent dont sa construction est supposée en bois.

II.2. Hypothèse de l'étude :

L'hypothèse de cette étude repose sur la supposition d'un bâtiment en bois fonctionnellement équivalent au bâtiment de référence existant bâti en béton. Dans cette étude, il a été considéré que les deux bâtiments sont localisés sur le même site afin de minimiser les différences de sensibilité fonctionnel entre les deux bâtiments y compris les distances de transport et les conditions de la nature du sol et du règlement parasismique.

II.3. Description des deux bâtiments (bois versus béton) :

Le bâtiment objet de cette étude est composé de cinq étages (R+5) subdivisés en logements et commerces et un Sous-sol destinés au stationnement Il est constitué d'un seul bloc de forme irrégulière, de dimensions (Tableau II.1.) :

Tableau II.1. Tableau de dimensions

Hauteur des étages courants	2.89 m
Hauteur du riz-de chaussé	2.89 m
Hauteur totale du bâtiment	17.34 m
Longueur totale du bâtiment en plan	14.45 m
Largeur totale du bâtiment en plan	12.00 m

Le bâtiment comparable est en bois La conception du bâtiment comparable est basée sur le même concept de base et possède la même superficie et les mêmes répartitions d'espaces que le bâtiment de référence en béton et acier.

II.4. Spécificités techniques des deux bâtiments :

La structure du bâtiment de référence (Figure II.1.) comprend des poteaux, des poutres et des dalles en béton armé. Avec une surface totale de 173,4 m², il présente un ensemble de 418 poteaux. Chaque poteau à une section constante de 30 cm x 60 cm et une hauteur de 2,89m. Les dalles ont une épaisseur de 21 cm, à l'exception du toit et du RDC qui sont respectivement de 27,5 cm et 25 cm. Le poids de l'armature utilisée est estimé à 437575 kg avec un volume de béton de 3809 m³.

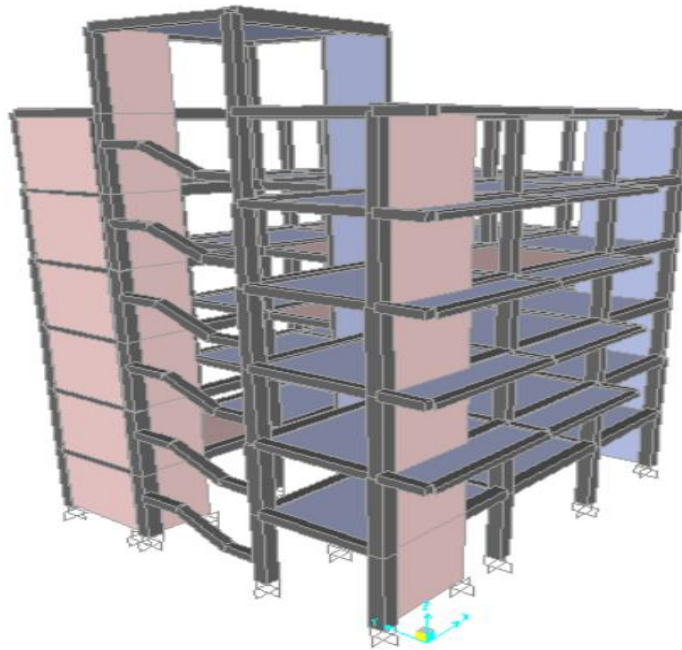


Figure II.3. Illustration 3D du bâtiment de référence construit en béton

Du point de vue structural, le bâtiment en bois (Figure II.2.) présente des colonnes en béton et en bois lamellé-collé, des poutres en bois lamellé-collé, de dalles en béton et en bois rouge. Il y a 286 colonnes et 260 poutres en bois; les 52 principales colonnes ont une section de 39 x 50 (cm). Sur les 3 premiers étages (RDC, 1er et 2e), 39 colonnes de section 27,9 x 27,9 (cm) ainsi que 6 autres colonnes de 18,4 x 40,6 (cm) sont érigées au niveau des toits de la terrasse. Les poutres ont une section de 18,4 x 54,6 (cm) et une portée Inter axe de 7 30 cm. Un ensemble de deux poutres se connecte de chaque côté d'une colonne à l'aide de vis auto-taraudeuses (Figure II.3.).

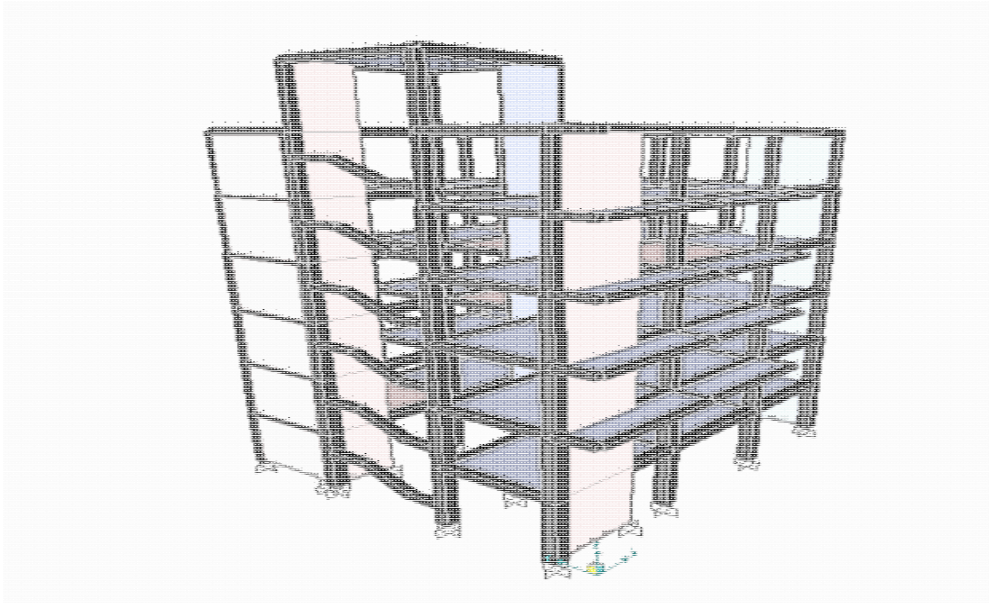


Figure II.4. bâtiment équivalent du point de vue fonctionnel, construit en bois

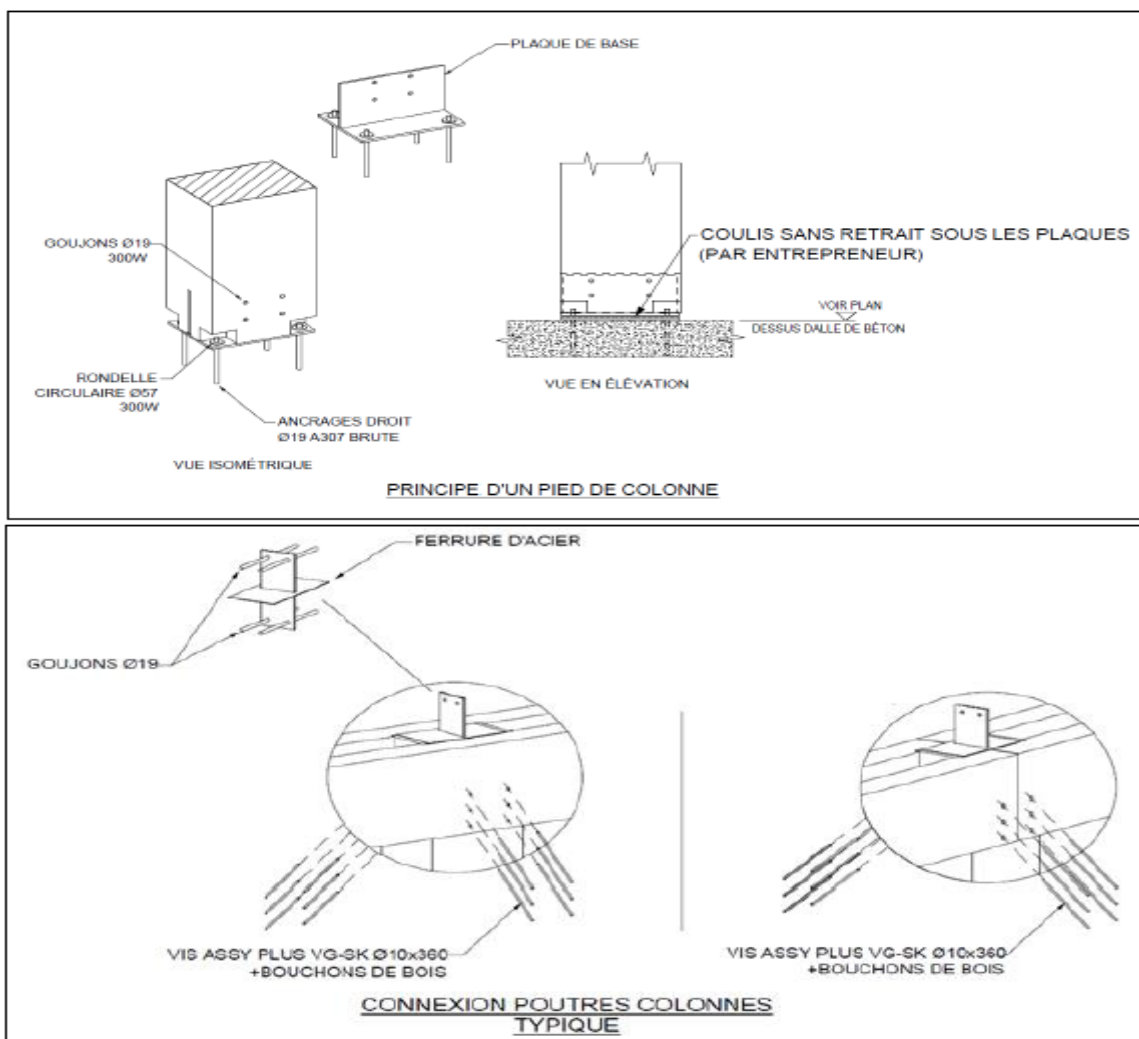


Figure II.5. Détails de l'assemblage colonne-dalle (bois-béton) et poutre-colonne (bois-bois) [46]

II.5. Matériaux utilisés :

Une liste non exhaustive des principaux matériaux utilisés pour la construction des deux bâtiments est présentée dans le Tableau ci-dessous.

Tableau II.2. Liste des principaux matériaux

Bâtiment en bois	Bâtiment en béton
Bois lamellé-croisé (Clt)	
Contreplaqué/OSB	Contreplaqué/OSB
Bois lamellé-collé	
Acier	Acier
Béton	Béton
Aluminium	Aluminium
Fibre de verre	Fibre de verre
Laine de roche	Laine de roche
Polystyrène extrudé/expansé	Polystyrène extrudé/expansé
Gypse	Gypse
Membrane pare-vapeur/pare-air	Membrane pare-vapeur/pare-air

II.6. Consommation des matériaux dans les deux bâtiments :

La consommation des matériaux permet d'avoir un aperçu global des matériaux impliqués dans la construction des deux bâtiments béton versus bois. Il inclut les différents matériaux qu'on a quantifiés à l'aide du bureau d'étude Senior Béton de Ain Temouchent et qui nous permis de listé les matériaux et leurs quantités en Kg en se basant sur le Building Information Modeling d'un projet similaire via logiciel Revit Architecture (Tableau II.3.).

Tableau II.3. Inventaire des matériaux de construction

Nom des matériaux	Quantité (kg)		
	Bâtiments bois	Bâtiments	Différence entre bois et béton
Gravier de 19mm	74575	74575	0
Poussière de pierre	22430	22430	0
Panneau drainant-15mm	10823	10823	0
Béton coulé	3782022	10924002	+7141980
panneau soprasmart	1506	1506	0
Brique blanche -90mm	223381	211855	11526
Brique grise -90mm	177958	168776	9183
Brique noire-90mm	22473	21313	1160
Brique noire -90mm-damier	28120	26669	1451
Aluminium anodisé -charbon/gris	6444	6444	0
Bâti en acier	9968	9437	532
Fourrure résiliente -13mm	2620	655	1965
Persienne –aluminium anodisé-charbon	63404	60133	3272
Bois –CLT	973261	0	973261
Bois –poutres	182660	0	182660
Panneau de contreplaqué-16mm	7685	7685	0
Acier pré-peint noir	197	187	10
Isolant d'uréthane giclé -50mm	17	17	0
Isolant d'uréthane giclé -90mm	5671	5671	0
Isolant de laine de fibre de verre- 92mm	1120	1120	0
Isolant de laine de fibre de verre- 152	1346	1346	0
Isolant en pente-13mm 141mm	3896	0	3896
isolant polyisocyanurate	4242	4242	0
Isolant rigide de type 4	659	0	659
Isolant rigide en panneau de fibres de type 2	11	11	0
Isolant rigide de type 4-50mm	24	24	0
Isolant rigide de type 4-100mm	24	24	0
Isolant semi rigide	11630	11630	0
Membrane acoustique (liège 5mm)	201495	0	201495
Membrane autocollante	1209	1209	0
Membrane de toiture remontée	53	53	0

Panneau d'aluminium pré-peint-32mm	2487	2487	0
Panneau prodema -8mm	3336	3164	172
Pare-air/pare-vapeur en soudées à chaud	21	21	0
Solin en acier pré-peint	78	78	0
Toile de filtration tissée de polyoléfinés	609	609	0
Cadre en acier	15096	15096	0
Fourrure d'acier galvanisé -22mm	1254	1254	0
Fourrure oméga en aluminium -19mm	740	740	0
Montant en acier galvanisé-64mm type « CH »	41515	10379	31136
Montant en acier galvanisé -64mm	912	862	50
Montant en acier galvanisé-92mm	14342	13555	787
Montant en acier galvanisé-152mm	619	585	34
Panneau de gypse régulier -12.7mm	149342	147482	1860
Panneau de gypse type C -12.7 mm	266092	241590	24502
Panneau de gypse type X-15.9mm	26417	26448	-31
Panneau de gypse type X -25.4mm	275	69	206
Panneau support en mats fibre verre-12.7 mm	24259	23007	1252
Verre générique	10727	10727	0
Verre opacifié	1166	1166	0
Acier-balcon	55507	0	55507
Carton fibre	3516	0	3516
Panneau de porte	9114	9114	0
Finition intérieures-Placoplatre	443892	443892	0
Grfv –gypse renforcé de fibres de verre	1533	1449	84
Métal –faible épaisseur	369	349	20
Métal –montants	717569	1449	84
Métal –montants CH	2106	349	20
Porte –cadre	1502	687175	39395
Porte –panneau	3959	1991	116
colonne	82893	1502	0
Verre	4	3959	0

Armature	51775	464173	-381279
Acier inoxydable	0	2507	-2507
neopor	0	687	-687
Structure acier brique	51793	30589	21205
Total	7805745	13909371	-6103626

II.7. Etude de l’impact de la construction :

L’étape de construction se décompose en deux modules à savoir le transport des produits jusqu’au site de construction et construction des bâtiments.

❖ **Impact sur le transport :**

Le module transport décrit dans cette section comprend le transport des matériaux de construction, du manufacturier jusqu’au site de construction. Cette énergie de transport (tkm) est égale au produit de la masse (tonne) de matériaux à transporter multiplié par la distance (km). Le type de transport considéré est celui sur roues. La Figure (II.4-II.5) illustre les distances d’approvisionnement des principaux matériaux de construction.

Figure II.6-II.5 Distance D’approvisionnement des principaux matériaux de construction (pris a partir de google maps).

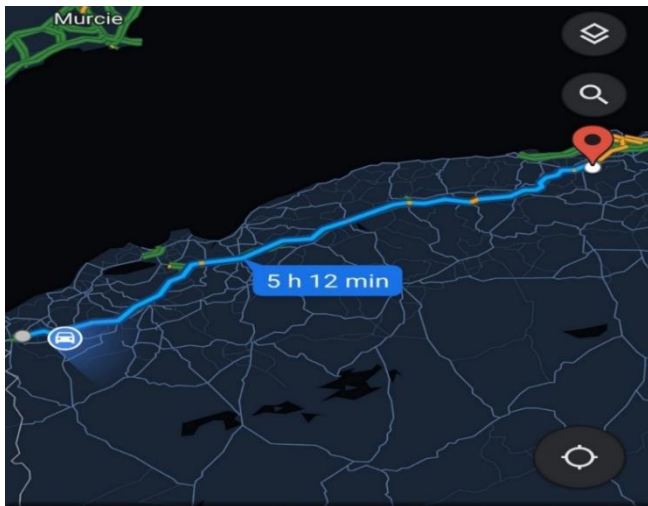


Figure II.7. Transport du bois De la wilaya de Blida

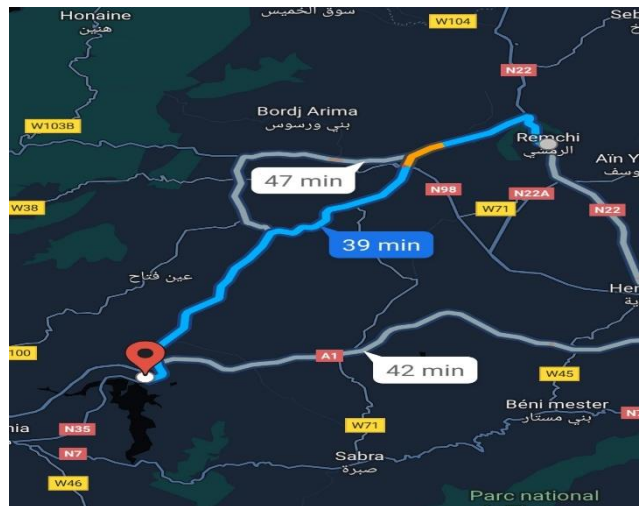


Figure II.8. Transport de béton de la région de Remchi

Le camion a une capacité de 32 tonnes. Dans les trajets aller et retour, seul le trajet aller est considéré, et les distances pour transporter les différents matériaux jusqu’au site sont les mêmes pour les deux bâtiments,

comme indiqué (Figure II.6.). L'énergie totale de transport (tkm) des matériaux de construction est estimée à 5 081 ktkm pour les constructions en bois et 4 384 ktkm pour les constructions en béton.

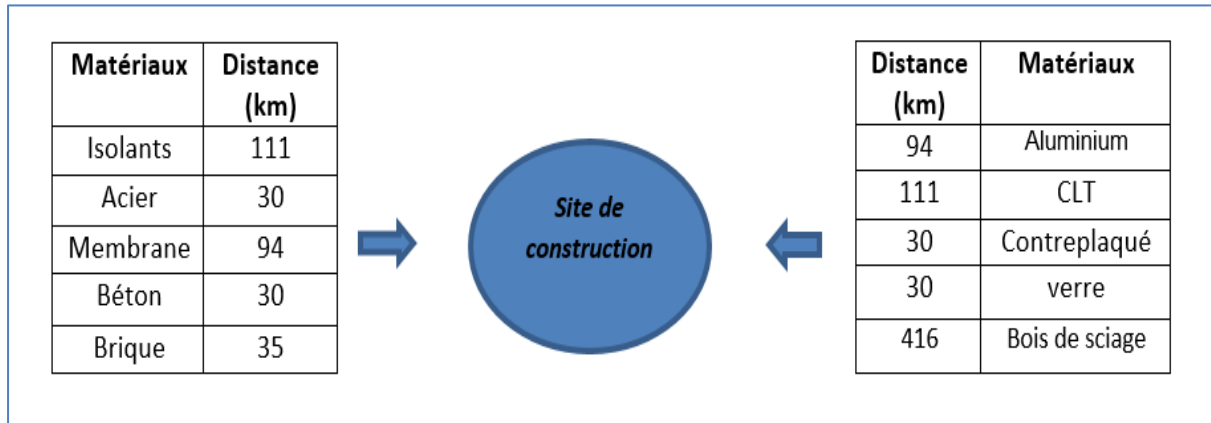


Figure II.6. Distance de transport des matériaux de construction vers le site de construction

❖ **Consommation d'énergie et production de déchets :**

La construction de bâtiments implique une consommation d'énergie et une production de déchets. La consommation d'énergie est principalement liée à l'utilisation d'équipements tels que grues à tour, nacelles, chariots élévateurs, ventilateurs et radiateurs, scies, perceuses/visseuses, cloueuses, agrafeuses, etc. L'énergie consommée sur le chantier est principalement de l'eau et de l'électricité. Les grues utilisées sur le chantier sont de 40 tonnes et sont utilisées à raison de 40 heures par semaine pendant 16 semaines, contribuant à la consommation énergétique des équipements sur le chantier. Les structures en bois prennent deux fois plus de temps à installer que les structures en béton/acier, et le séchage des dalles de béton est effectué à l'aide d'appareils de chauffage alimentés au propane (gaz). Les données de consommation d'énergie pendant la période de construction sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.4. Consommation énergétique en phase de construction

Éléments	Consommation (GJ)	
	Bâtiment bois	Bâtiment béton
Grue	81	162
Chaufferette	0	12,17

Les opérations de dimensionnement, de forage et d'assemblage génèrent des déchets de construction. La quantité de déchets pour chaque matière représente un pourcentage de la quantité totale de matière analysée. Ce pourcentage varie selon le type de matériau. Selon une étude réalisée par le Bureau d'Etudes Béton Avancé d'Ain Temouchent, le pourcentage de rebut des matériaux utilisés a été déterminé. Ils varient entre 0 % pour les éléments préfabriqués (CLT et lamellé-collé) et 15 % pour Placoplatre. Le tableau II.5 répertorie les pourcentages et les quantités de déchets correspondantes affectées aux différents matériaux utilisés.

Tableau II.5. Pourcentage et quantité de déchets générés

Nom des matériaux	Facteur (%)	Déchets (kg)		Différence bois-béton
		Bâtiment Bois	Bâtiment béton	
Panneau drainant – 15mm	2	216	216	0
Béton léger coulé en place	5	158 522	130 218	28 304
Panneau Soprasmart ^{MD}	1	15	15	0
Dalle de béton – 100mm	5	3 575	3 575	0
Aluminium anodisé – charbon/gris	1	64	64	0
Fouurrure résiliente – 13mm	1	26	7	20
Persienne – aluminium anodisé – charbon	1	634	601	33
Béton structural coulé	5	264	386 725	-386 461
Panneau de contreplaqué – 16mm	1	77	77	0
Acier pré-peint noir	1	2	2	0
Isolant de laine de fibre de verre – 92mm	5	56	56	0
Isolant de laine de fibre de verre – 152mm	5	67	67	0
Isolant en pente – 13mm @ 141mm	5	195	0	195

Isolant polyisocyanurate	5	212	212	0
Isolant rigide de type 4	5	33	0	33
Isolant rigide en panneau de fibres type 2	5	1	1	0
Isolant rigide type 4 – 50mm	5	1	1	0
Isolant rigide type 4 – 100mm	5	1	1	0
Isolant semi-rigide (laine de roche)	5	581	581	0
Membrane acoustique (liège 5mm)	3	6 045	0	6 045
Membrane de toiture remontée	3	2	2	0

Nom des matériaux	Facteur (%)	Déchets (kg)		Différence bois-béton
		Bâtiment Bois	Bâtiment béton	
Panneau d'aluminium pré-peint – 32mm	1	25	25	0
Pare-air/pare-vapeur en feuilles soudées à chaud	5	1	1	0
Solin en acier pré-peint	1	1	1	0
Toile de filtration tissée de polyoléfines	2	12	12	0
Cadre en acier	1	151	151	0
Fouurrure d'acier galvanisé – 22mm	1	13	13	0
Fouurrure oméga en aluminium – 19mm	1	7	7	0
Montants en acier galvanisé – 64mm type "CH"	1	415	104	311
Montants en acier galvanisé – 64mm	1	9	9	1
Montants en acier galvanisé – 92mm	1	143	136	8

Montants en acier galvanisé – 152mm	1	6	6	0
Panneau de béton léger – 13mm	5	367	348	19
Panneau de béton préfabriqué – 38mm	5	4 201	4 201	0
Panneau de gypse régulier – 12.7mm	1	1 493	1 475	19
Panneau de gypse type C – 12.7mm	1	2 661	39	2 622
Panneau de gypse type X – 15.9mm	1	264	264	0
Panneau de gypse type X – 25.4mm	1	3	1	2
Panneau OSB – 12.7mm	1	243	230	13
Acier (attaches, plaques d'assemblage, etc.)	1	555	0	555
Béton – bloc de béton	5	19 179	18 189	990
Carton fibre	5	176	0	176
Béton – coulé en place	5	771	731	40
Finitions intérieures – Placoplatre	15	66 584	66 584	0
GRFV – Gypse renforcé de fibres de verre	1	15	14	1
Métal – faible épaisseur	1	4	3	0
Métal – montants	1	7 176	6 782	394
Métal – montants "CH"	1	21	20	1
Armature	1	518	4 376	-3 858
Béton – pont thermique	5	0	21	-21
Structure acier brique	1	518	306	212
Total		276 122	626 471	-350 349

La quantité de déchets générés lors de la construction varie d'un bâtiment à l'autre car elle est liée à la masse des matériaux utilisés. Les constructions à ossature bois ont généré 276 tonnes de déchets et les constructions béton 627 tonnes. Ces déchets sont acheminés vers le centre de tri de Saf-Saf. Le centre de tri considéré est à 44 kilomètres du chantier. 12 149 tkm et 27 564 tkm d'énergie de transport des déchets pour respectivement les bâtiments bois et béton.

II.8. Comparaison du profil environnemental entre les deux bâtiments :

Une comparaison environnementale des deux bâtiments montre que les bâtiments en bois ont une empreinte environnementale inférieure de 6 à 22 % par rapport aux bâtiments en béton, selon le type de catégorie d'impact analysé (Figure II.7.). Par rapport aux bâtiments en béton, les bâtiments en bois ont une catégorie d'impact sur le réchauffement climatique inférieure de 20 %. Les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment en bois étaient de 6,9 kilotonnes d'équivalent CO₂, tandis que les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments en béton étaient de 8,6 kilotonnes d'équivalent CO₂. La différence d'émissions de gaz à effet de serre entre les deux bâtiments équivaut à une réduction des émissions de près de 1,7 kilotonne d'équivalent dioxyde de carbone. Pour la validation des résultats obtenus avec la méthode d'analyse d'impact TRACI, les données modélisées ont été analysées avec la méthode d'analyse d'impact « IMPACT 2002+ ».

Tableau II.6. Catégories d'impacts

Catégories d'impacts	Unité	Bâtiment 1_Bois	Bâtiment 2_Béton	Différence
Changement climatique	kg CO ₂ eq	6,88E+06	8,62E+06	1,75E+06
Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	9,85E-01	1,06E+00	7,74E-02
Smog	kg O ₃ eq	5,68E+05	6,24E+05	5,60E+04
Acidification	kg SO ₂ eq	7,08E+04	7,51E+04	4,35E+03
Eutrophisation	kg N eq	2,13E+04	2,75E+04	6,17E+03

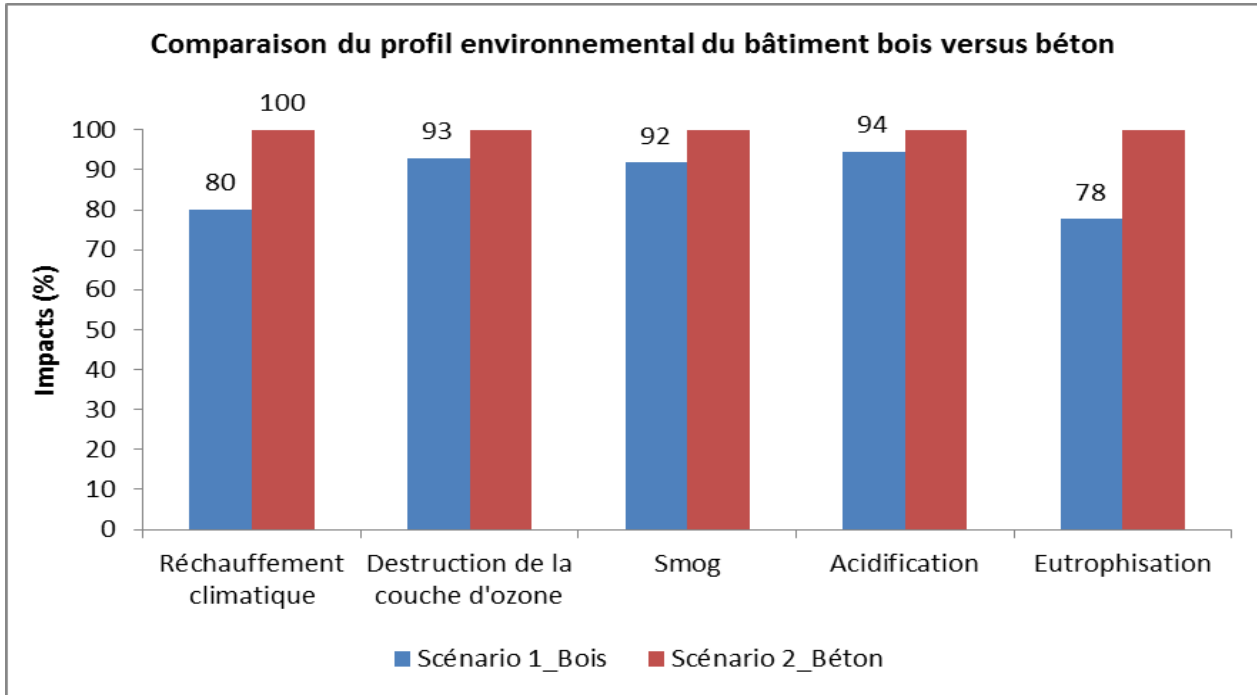


Figure II.7. Comparaison des impacts environnementaux bâtiment en bois versus bâtiment en béton; analysés avec la méthode TRACI

II.9. Conclusion :

Cette étude comparative nous a montré que L'utilisation du bois dans la construction des bâtiments présente une plus faible empreinte carbone, comparativement au bâtiment en béton et acier. Les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments en bois sont inférieures de 20 % à celles des bâtiments en béton. Cette différence représente l'émission évitée d'environ 1,8 kt d'équivalent CO₂. Les informations sur les émissions de GES des matériaux de construction pourront guider les professionnels dans le choix de matériaux de construction dans le futur. Les résultats de l'analyse pourront être vulgarisés auprès du grand public afin de contribuer à sa sensibilisation et à son information sur les questions environnementales La construction en béton génère plus de déchets que la construction en bois, généralement les chantiers de bois sont plus propres que les chantiers de béton. De plus, les déchets générés par son utilisation peuvent être réutilisés dans de multiples domaines. Non seulement ils sont non polluants, mais ils peuvent être réutilisés. Ils sont biodégradables lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Par conséquent, cela évite de nombreux risques environnementaux, tels que la pollution des sols. De ce fait, l'utilisation accrue du bois dans les bâtiments et l'écoconception sont des pistes concrètes qui méritent une attention particulière dans les travaux futurs.

Ici en Algérie, la culture de la construction en bois est un peu en retard, cela est dû au coût élevé de ce matériau par rapport au béton, mais avec la création de solutions comme le reboisement pour la production de bois, ce matériau est accessible à tous.

Chapitre III

**Démarche contemporaine
pour un projet de
construction des chalets en
bois**

III.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous présentons un projet de construction de chalets en bois sur la plage de Bider, Tlemcen. Nous mentionnons dans la première section la situation géographique du projet. Ensuite, nous présentons les limites générales et les contraintes de ce dernier, à savoir la portée, le cout, les délais, les risques et ses ressources potentiels. L'aperçu de la nature géotechnique du projet ainsi que les aspects techniques ont été abordé avant de conclure ce chapitre qui montre non seulement la faisabilité de la construction en bois mais également son intérêt dans les zones côtière de la région de Tlemcen.

III.2. Le contexte du projet:

Il s'agit d'un projet qui consiste en la construction d'un centre de repos et de divertissement par l'Entreprise régionale de génie rural (ERGR Aurès), de Khenchela, filiale du groupe GGR "Groupe Génie Rural", spécialisée dans la réalisation des programmes de développement rural, qui à son tour a réalisé de nombreux projets de ce genre en Algérie.

Ce projet rentre dans le cadre du programme du Ministère de l'Intérieur des Collectivités Locales et d'Aménagement des Territoires (MICLAT) pour la construction d'une trentaine de chalets à la plage de BIDER au profit de la direction des actions sociales de la wilaya de Tlemcen. Il présente de nombreux atouts notamment pour l'environnement car il est exempt de polluants environnementaux au bord d'une zone côtière dont l'humidité est toujours considérée comme l'ennemi majeur pour les habitations de cette région. De point de vue économique, il permettra d'économiser de l'énergie, grâce au caractère isolant du bois (isolation thermique et acoustique), et cela nous permettra d'atteindre le confort et l'efficacité énergétique souhaité.

Sachant que , la région de Tlemcen manque des commodités qui font ressembler ses habitants à des lieux de vacances d'été, ce projet sera un bon lieu touristique pour la wilaya de Tlemcen, et contribuera à améliorer le tourisme dans la région.

III.3. Position géographique du projet :

Le projet est situé à la plage de Bider, commune de Msirda Fouaga à 50 km de Maghnia, 19 km du Daira de Bab El Assa (Figure III.1.) et 95 km de la wilaya de Tlemcen, situé à l'extrémité nord-ouest du pays. Délimitée : au nord par la Méditerranée, à l'ouest par le Maroc, au sud par la wilaya de Naâma et à l'est par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Ain-Temouchent (Figure III.2.).

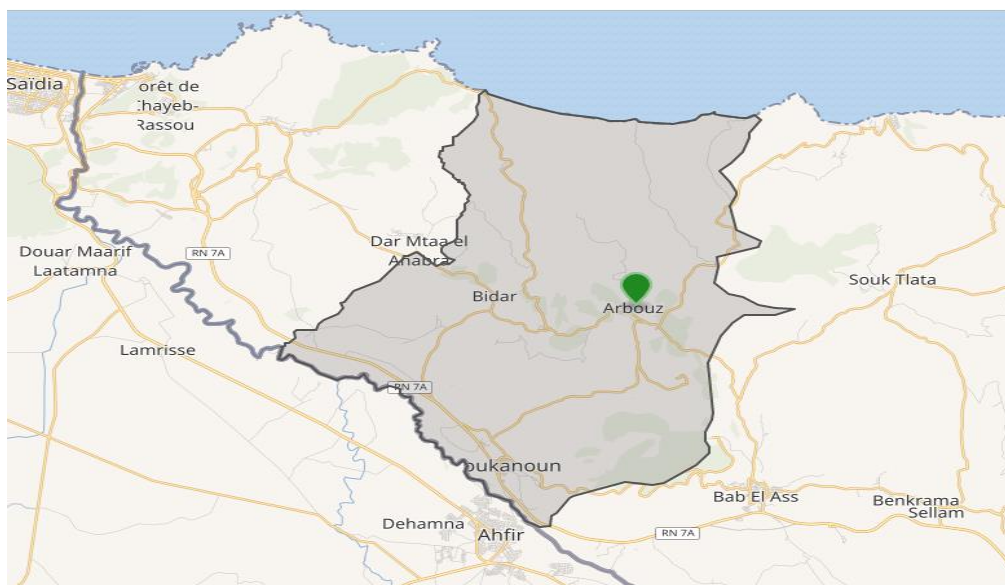


Figure III.9. Position géographique de la commune de MSirda Fouaga



Figure III.10. Position géographique Tlemcen

III.4. Limites générales et contraintes du projet :

Les limites du projet se résument principalement sur le temps, le coût et le risque. Il est important de les identifier car elles peuvent affecter la performance du projet.

Nous abordant dans cette section, les six contraintes du dite projet qu'il faut prendre pour une gestion efficace (Figure III.3.).

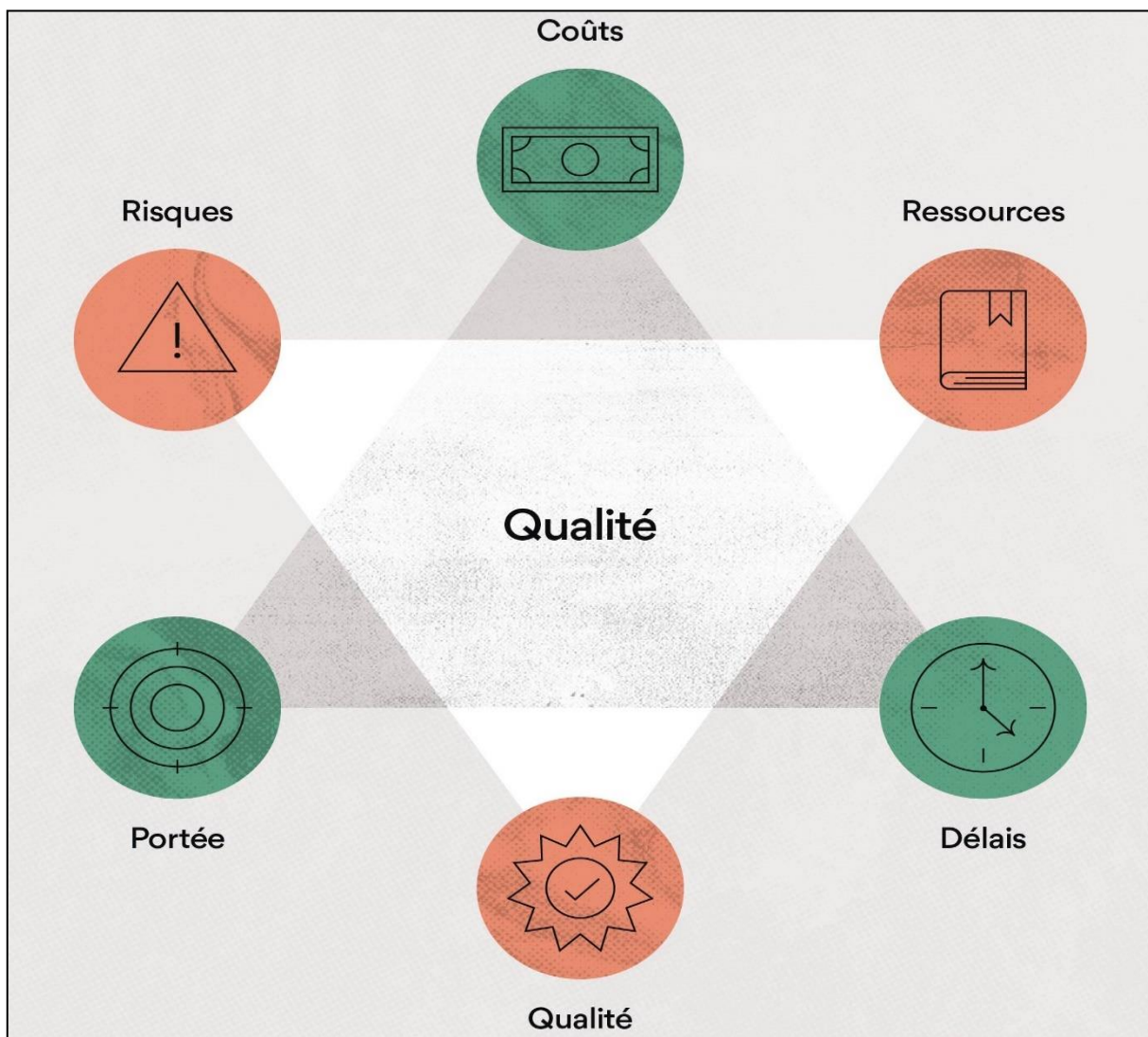


Figure III.11. Schéma des contraintes du projet

Pour une bonne gestion de projet, il est nécessaire de trouver un équilibre entre les trois contraintes fondamentales (portée, coûts, délais), aussi appelées le triangle d'or de la gestion de projet (Figure III.4.).

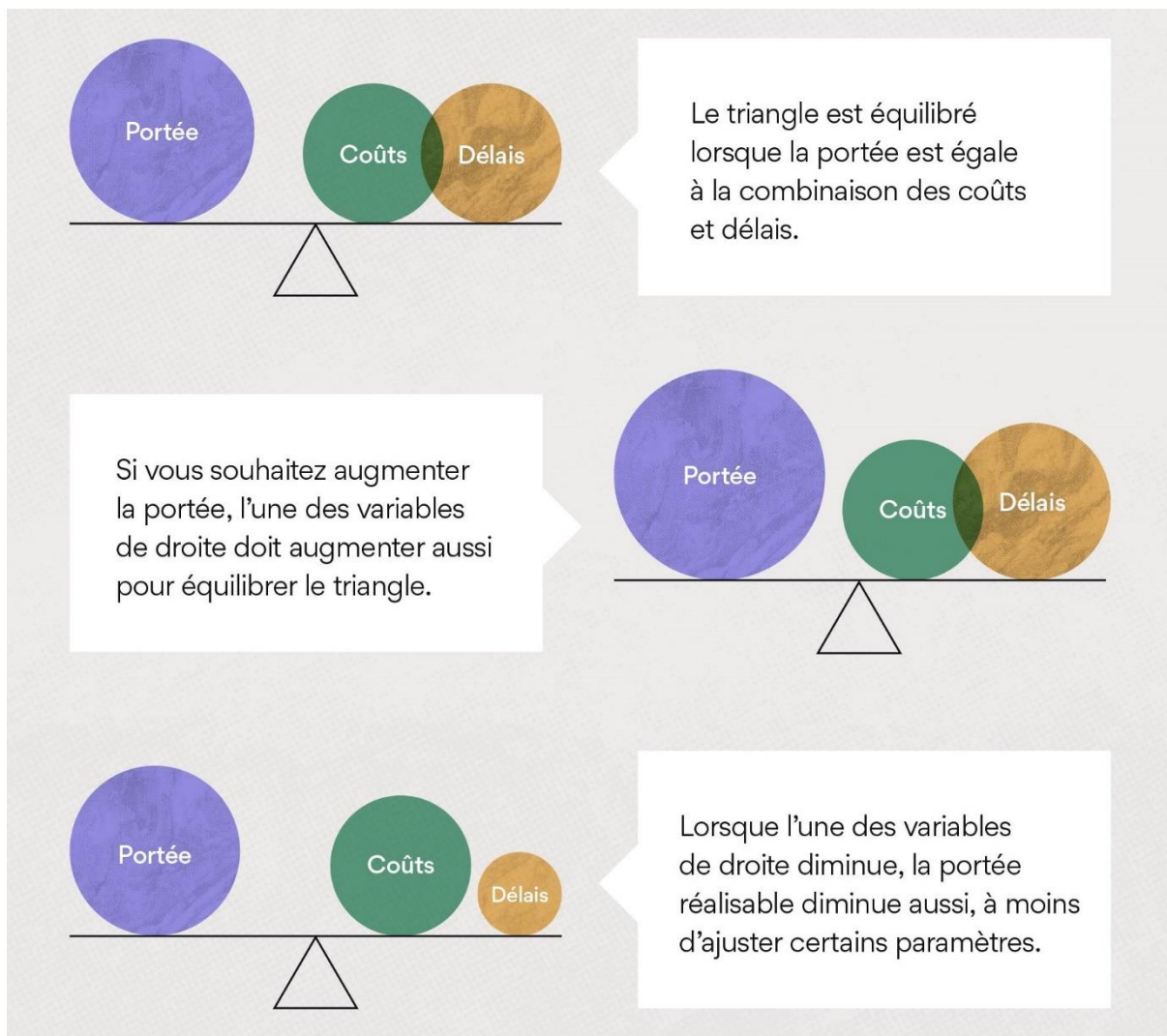


Figure III.12. Les cas d'équilibre des trois contraintes

- **Portée :**

Concernant notre projet, nous commencerons par l'analyse de sa position car elle joue un rôle important dans sa portée, et comme sa position est proche de la mer, sans le moindre doute c'est le meilleur endroit pour construire des chalets habitables en bois, car l'idée de réalisation repose sur la mise à disposition d'un lieu adapté et bien équipé pour les vacances.

Sans négligé les deux facteurs temps et l'argent qui ont un rôle important dans la portée de ce projet, il a fallu au maitre d'ouvrage d'attribué ce projet gré à gré à l'entreprise ERGR Khenchela, une filiale leader par sa grande expérience pour répondre aux exigences de ce projet et respecté le temps et le budget alloué à cette opération.

- Coûts :

Le coût global du projet repose sur une estimation qu'on a élaboré grâce aux discussions avec les différents acteurs du projet et visites effectués au chantier.

Voici les deux tableaux qui montrent les estimations de construction d'un projet de ce genre (Tableau III.1.), ainsi que les équipements nécessaires (Tableau III.2.) :

Table III.1. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF POUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION

N	Désignation des travaux	U	Quant	Prix unitaire	Montant
HEBERGEMENT					
1	F/P de chalet en bois type F2 de 35.00 m ² habitable sur une parcelle de 72.00m ² (9m ,8m) avec air de stationnement	U	30	2 100 000,00	63 000 000,00
ADMINISTRATION					
1	F/P d'un bloc administratif en bois	U	1	2 190 000,00	2 190 000,00
2	F/P d'un cabinet de soin /infirmierie avec sanitaire en bois	U	1	1 080 000,00	1 080 000,00
3	F/P d'un magasin en bois	U	1	3 360 000,00	3 360 000,00
4	F/P d'une buanderie en bois				
5	F/P D'un local technique en bois				
Consommation					
1	F/P d'une cafeteria en bois	U	1	2 581 800,00	2 581 800,00
2	F/P d'une supérette en bois	U	1	2 547 000,00	2 547 000,00

3	F/P d'une restauration en bois	U	1	4 800 000,00	4 800 000,00
VRD EXRTERIEUR					
1	Poteau d'éclairage économique LED panneaux solaires	U	12	1 100 000,00	13 200 000,00
2	Revêtement des aménagements piétons	M ²	500	1 500,00	750 000,00
3	Mur de clôture	ML	573	5000,00	2 865 000,00
SPORT ET LOISIR					
1	Espace vert/air de jeux pour enfants	M ²	1000	1 000,00	1 000 000,00
				TOTAL H.T	97 373 800,00
				TVA 19%	18 501 022.00
				TOTAL TTC	115 874 822,00

Arrêté le montant à la somme de : EN CHIFFRE (115874822,00 da/t.t.c)

En lettre : Cent quinze millions huit cent soixante-quatorze mille huit cent vingt-deux dinars algérien en TTC

Table III.2. DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DEVIS DES ÉQUIPEMENTS

N° ART	Désignation des ouvrages	U	Quant	Prix unitaire	Montant
1-30 chalets :					
1	Armoires en bois (04 portes)	U	30	45000,00	1350000,00
2	Portes manteaux en bois	U	60	9500,00	570000,00

3	Lits une place	U	120	25000,00	3000000,00
4	Matelas une place	U	120	8500,00	1020 000,00
5	Table à 04 chaises en bois	U	30	52000,00	1560000,00
6	Réfrigérateur model moyen	U	30	67000,00	2010000,00
7	Cuisinière 04 feux	U	30	65000,00	1950000,00
8	Hotte aspirante de cuisine	U	30	25000,00	750000,00
9	Micro-onde	U	30	18000,00	540000,00
10	Machine a lavé a 7 kg	U	30	65000,00	1950000,00
11	Elément de cuisine en bois +évier de cuisine en inox a 2 bacs +mélangeur +flexible de raccordement et toutes autres sujétions	U	30	75000,00	2250000,00
12	Chauffe bain 10litres y compris installation et toutes sujétions de bonne exécution	U	30	27000,00	810000,00
13	Equipement salle d'eau : mélangeur pour receveur de douche +douchette pour WC +lavabo en porcelaine vitrifié avec siphon +mélangeur +glace +point lumineuse +tablette +porte savon y/c flexibles et toutes autres sujétions	Enss	30	120000,00	3600000,00
14	Store vénitiens pour portes et fenêtres	Enss	30	25000,00	750000,00
s/total 30 chalets					22 110 000,00
2-administration : bloc administratif cabinet de soin (infirmierie)					

1	Photocopieuse multifonction GM avec chariot	U	2	85000,00	170 000,00
2	Bureaux en bois	U	4	35000,00	140 000,00
3	Fauteuils de bureaux	U	4	27 000,00	108 000,00
4	Chaises visiteurs en bois	U	8	2500,00	20000,00
5	Armoires en bois (02 ports)	U	4	35 000,00	140 000,00
6	Portes manteaux en bois	U	4	9500,00	38000,00
7	Tableaux d'affichage vitrée GM	U	2	25 000,00	50 000,00
8	Bancs à chaises fixé pour salle de réception	U	4	18000,00	72000,00
9	Fourniture et pose d'un climatiseur type split système réversible pf=3,50 kW (12000BTU) , pc=3,8kw (13000BTU) , Pabs=1,25 kW , de marque renommée alimentation 1ph ,220-240v , 50hz ,avec filtre à air régénérable et grille de protection y/c supports métalliques de fixation , évacuation des condensats ,raccordement électrique ,essais ,mise en service et tous sujétions de parfaite mise en œuvre selon les règles de l'art	U	3	58 000,00	174 000,00
10	Micros ordinateurs (15) : unités (avec carte réseau wifi), écrans 21", claviers +souris) +onduleurs	U	2	75 000,00	150 000,00
11	Bureaux petit model	U	2	18 000,00	36 000,00
12	Imprimantes (laser) A4	U	2	32 000,00	64 000,00

13	Réseaux wifi (points d'accès)	U	2	28 000,00	56 000,00
14	Ensemble : table d'examen médical + tabouret mobile de dessin médical + marchepied médical + chariot de médicaments mobil + isoair	U	1	82000,00	82000,00
15	Réfrigérateur petit model (stérilisation)	U	1	42000,00	42000,00
16	Micro-onde (stérilisation)	U	1	18000,00	18000,00
17	Chauffe bain 10 litre y compris installation et toutes sujétions de bonne exécution	U	2	27000,00	54000,00
s/ total administration					1 414 000 ,00
Montant en h.t					23 524 000,00
Tva 19 %					4 469 560,00
Montant en ttc					27 993 560,00

Arrêté le montant à la somme de : EN CHIFFRE (27 993 650,00 da/t.t.c)

En lettre : vingt-sept millions neuf cent quatre-vingt-treize mille six cent cinquante dinars algérien en TTC

- **Délais :**

L'avantage de la construction en bois repose principalement sur les éléments préfabriqués. Ce processus à réduit considérablement le temps de construction de ce projet.

En raison de sa méthode de fabrication spécifique, les chalets en bois prennent moins de temps à construire que les maisons traditionnelles. En fait, il n'y a pas de temps d'attente pour la livraison ou la fabrication des coffrages, des barres d'armature ou du béton. Dans le cas de notre chalet passif en bois, les murs et

charpentes avec isolation par l'intérieur (Figure III.5.) sont assemblés sur le chantier en une semaine, seulement.

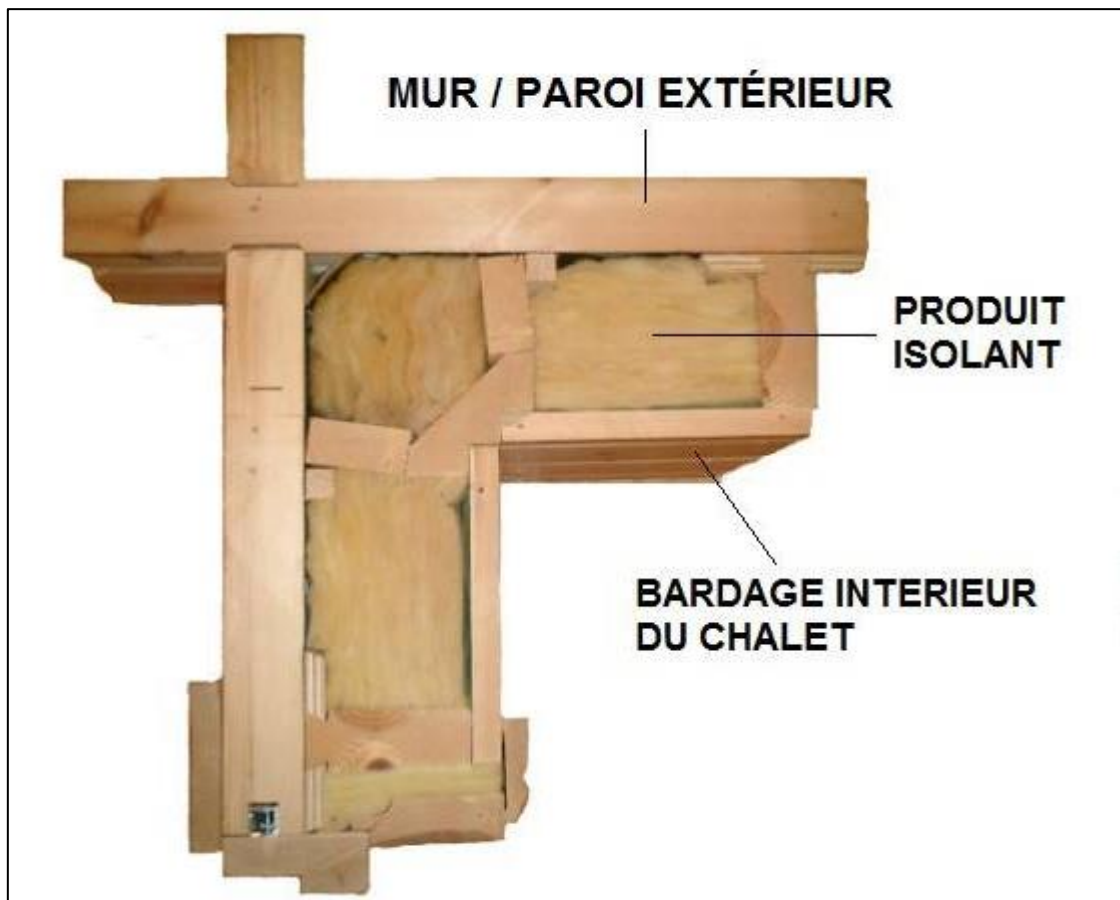


Figure III.13. Isolation de mur par l'intérieur [47]

Les travaux de l'électricité, de la plomberie et des sanitaires, etc. y compris la finalisation de l'intégralité de ce projet peut être estimé entre 8 et 12 mois, soit 2 fois moins que le délai nécessaire pour une construction par le béton armé.

- **Le risque et ressources :**

Il est important de toujours considérer sérieusement tous les risques, même les plus petits. Pour les minimiser, ils ont envisagé de planifier l'utilisation de grilles et de barrières de clôtures de site. Ce sont des protections physiques qui sont utilisées pour éviter la négligence et qui ont également l'avantage de minimiser le danger provenant de l'extérieur du site.

Nous trouvons également quelques piquets en bois enfoncés dans le sol, dépassant d'environ 20 cm. Ce sont des repères d'évacuation et d'accès aux futurs réseaux d'eau et d'électricité.

- **Les ressources :**

Concernant les ressources, on distingue les ressources humaines et matérielles :

- Ressource humaine :

Pour le bon fonctionnement du chantier ces ressources fournissent le personnel nécessaire pour le bon déroulement et l'organisation du projet.

Nous pour ce projet nous recensons l'existence de :

- ✓ 1 Chef de chantier
- ✓ 1 Ingénieur
- ✓ 1 Architect
- ✓ 3 Macon
- ✓ 10 ouvriers
- ✓ 5 charpentiers

- Ressource matérielle :

Les moyens matériels concrets recensé dans ce projet se résument principalement sur des outils de base et matériaux à savoir des tronçonneuses, coffrages, bois, ferrailage, ciment, sable, le verre, l'acier, l'aluminium, les textiles, les plastiques (notamment isolants) les tuiles, carrelages et divers éléments sanitaires ainsi que les moyens de transport (véhicule, camions, rétro chargeur...)

III.4.1. aperçus sur la nature géotechnique du projet :

Les points de sondages carottés et préssiométrique réalisés (Figure III.6.), ont mis en évidence la présence d'une formation prédominante faite de marne beige à verdâtre sableuse, avec l'existence d'un remblai de 5 m d'épaisseur au droit du sondage SP9, du côté Sud-Ouest.

Ainsi, vu la nature des sols en place, certains résultats des essais géotechniques et in-situ, de la topographie des lieux, les spécificités du projet, et les études géotechniques réalisées dans la zone géographique du projet, le laboratoire préconise ce qui suit:

Variante 1 :

- Passer par des fondations semi-profondes sur faux puis,
- Les ancrées à 3m de profondeur dans la formation des marnes.
- Faire travailler les fondations à une contrainte admissible de 1,44bar.
- Projection d'un vide sanitaire. |

Variante 2:

- Passer par un radier général
- Les ancrées à 2 ,50 m dans la formation des marnes.
- Faire travailler les fondations à une contrainte admissible de 1,42bar

Ainsi, nous recommandons pour ce type de sol:

- Prévoir un trottoir périphérique pour éviter toute infiltration des eaux.
- Imperméabiliser le pourtour des blocs |
- Utiliser des canalisations flexibles |
- Eviter la végétation à proximité des blocs.
- Prendre des précautions vis-à-vis de talus du côté Est et Nord, ainsi de la chaaba du côté Nord-Est. |

© Selon la norme NA 16002 (2016) la classe d'agressivité du sol analysé est de classe XA3 (environnement à forte agressivité chimique), où des mesures particulières pour la confection du béton et béton armé au contact de ces sols ; un ciment spécial résistant aux sulfates est recommandé.

- Tenir compte des recommandations du RPA 99, version 2003, qui stipule que la région de Bider, Wilaya de Tlemcen se trouve dans la zone sismique « 1 ».



Figure III.14. Plan schématique d'implantation des points des sondages carotté et préssiométrique

S*C : sondage carotté.

S*P = sondage préssiométrique.

III.4.2. Aspects techniques du projet :

La lecture du cahier des charges laisse apparaître que le projet regroupera un centre de repos familial sous forme de 30 chalets en bois (Figure III.7.). Cette réalisation est la première du genre à Tlemcen.

Ces 30 chalets sont divisés en :

- ✓ des logements type F2 de 35.00 m²
- ✓ un bloc administratif
- ✓ un cabinet de soin /infirmierie avec sanitaire
- ✓ un magasin
- ✓ une buanderie en bois
- ✓ un local technique
- ✓ une cafeteria
- ✓ une supérette
- ✓ une restauration



Figure III.15. Plan de réalisation du projet.

Les matériaux utilisés dans la construction de ces chalets sont en bois local et à base de liège utilisé en tant qu'isolant thermique et écologique. Le système constructif adopté est sous forme d'un préfabriqué en bois sur plateforme en Béton.

Les étapes de la construction d'un chalet :

Dans le tableau suivant il y a des photos que nous avons prises lors des sorties sur le chantier, montrant les étapes de construction d'un chalet (Tableau III.3.) :

Tableau III.3. Tableau des photos



(a) plateforme en béton pour la construction d'un chalet



(b) Début de la construction de superstructure



(c) Construction d'un chalet (20%)



(d) Construction d'un chalet (30%)



(e) Construction d'un chalet (45%)



(f) Construction d'un chalet (50%)



(g) Construction d'un chalet (65%)



(h) Construction du chalet terminée (100%)

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un projet de construction de chalets en bois sur la plage de Bider, qui nous a fait découvrir les avantages environnementaux du bois, par ce que c'est un matériau qui produit peu de carbone dans l'atmosphère lors de sa transformation.

La construction bois permet de faire face à de nombreux enjeux du monde du bâtiment actuel : construire vite, avec des systèmes vertueux sur plan écologique et fiables. Donc à l'heure actuelle notre pays doit s'engager encore plus dans l'investissement lié au développement durable, et spécialement à la construction écologique qui augmente l'efficacité énergétique. C'est le résultat d'une conception qui préserve les ressources et réduit les impacts néfastes pour la santé humaine et l'environnement à tous les stades de la vie du bâtiment.

Conclusion générale

L'utilisation du bois peut réduire l'impact environnemental de la construction, notamment en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'utilisation globale des matériaux de construction. Cependant, afin de réduire significativement l'impact environnemental de la construction, l'impact des matériaux de construction les plus courants (béton et acier) doit également être réduit.

Nous concluons de l'étude comparative précédente des deux bâtiments que La construction en bois peut contribuer à la réduction de la consommation d'énergie et des Emissions de CO2 issues de la fabrication de produits de construction, mais aussi à la réduction de l'utilisation globale de matériaux et ainsi de la quantité de déchets. Pour chaque tonne de produits du bois utilisée à la place du béton, une Moyenne de 2 tonnes d'émissions de CO2 est évitée grâce à la substitution ; c'est-à-dire, en Evitant les émissions plus importantes provenant de la production d'autres matériaux, et au Stockage du carbone dans les produits du bois.

Le chantier de chalet en bois est moins polluant par rapport à la construction en béton, et ne nécessite pas l'utilisation de grues ou de bétonnières imposantes, le chalet en bois utilise un matériau naturel et écologique, ce qui signifie que le chalet en bois a une très faible empreinte environnementale par rapport à une maison construite en béton. Il comporte également une excellente isolation thermique et phonique et En termes d'esthétique, c'est bien mieux que les constructions en béton.

Notre conclusion finale, le bois est un matériau renouvelable et un matériau prépondérant pour le développement durable, Contrairement à de nombreux matériaux utilisés dans la construction, et le bois est un ingrédient clé pour répondre aux défis environnementaux de demain.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Stevens, M. (1990). Les atouts écologiques du bois comme matériau de construction. *Silva Gandavensis*, 55.
- [2] Ramade, F. (1993). Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement.
- [3] Deshayes, P. (2012). Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable: logiques d'innovation et/ou problématiques du changement. *Innovations*, (1), 219-236.
- [4] Armand Decker, S. (2015). Développement d'une méthode d'optimisation multiobjectif pour la construction bois: prise en compte du confort des usagers, de l'impact environnemental et de la sécurité de l'ouvrage (Doctoral dissertation, Bordeaux).
- [5] Alain, S. (2015). Évaluation d'outils d'analyse du cycle de vie pour étudier la performance environnementale de bâtiments en bois innovants (Doctoral dissertation, Université Laval).
- [6] Collet-Foucault, F. (2004). Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de génie civil à faibles impacts environnementaux (Doctoral dissertation, Rennes, INSA).
- [7] Mooser, M., Méridgeaux, L., Pflug, D., & Horsch, B. (2014). Bois et réhabilitation de l'enveloppe: rénover, isoler, optimiser. PPUR Presses polytechniques.
- [8] Stéphane Brügger . (2014). École primaire Sans-Frontières
- [9] Jaupart-Chourrout, N. (2012). Fibres du bois et chimie du bois: les nouvelles utilisations du matériau bois. *Forêt méditerranéenne*, 33(4), 379-384.
- [10] Hurmekoski, E. (2020). Comment la construction en bois peut-elle contribuer à réduire la dégradation de l'environnement.
- [11] Lebourgeois, F. (1999). Les Chênes sessile et pédonculé (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) dans le réseau Renecofor: rythme de croissance radiale, anatomie du bois, de l'aubier et de l'écorce. *Revue forestière française*, 51(4), 522-536.
- [12] Natterer, J. (2004). Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement (Vol. 13). PPUR presses polytechniques.
- [13] Kolb, J. (2011). Bois: systèmes constructifs. PPUR Presses polytechniques.
- [14] Turner, J. A., Buongiorno, J., Maplesden, F., Zhu, S., Bates, S., & Li, R. (2006). World Wood Industries Outlook, 2005-2030 (Vol. 230). Ensis.
- [15] Herzog, T. (2005). Construire en bois. PPUR presses polytechniques.
- [16] Méniaud, J. (1950). L'Azobé et ses utilisations. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 15, 261-266.
- [17] Giordanengo, T., Charpentier, J. P., Boizot, N., Roussel, S., Roger, J. M., Chaix, G., ... & Mourey, N. (2009). Oakscan: procédé de mesure rapide et non destructif des polyphénols du bois de chêne de tonnellerie. *Revue Française d'œnologie*, (234), p-10.

- [18] Gnahoua, G. M., & Louppe, D. (2003). *Acacia auriculiformis*.
- [19] Ganaba, S., Ouadba, J. M., & Bognounou, O. (2004). Plantes de construction d'habitations en région sahélienne. *Bois & forets des tropiques*, 282, 11-17.
- [20] Keller, R. (1968). Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois: les composantes de la densité. In *Annales des Sciences Forestières* (Vol. 25, No. 4, pp. 237-249). EDP Sciences.
- [21] Clair, B. (2001). Etude des propriétés mécaniques et du retrait au séchage du bois à l'échelle de la paroi cellulaire: essai de compréhension du comportement macroscopique paradoxal du bois de tension à couche gélatineuse (Doctoral dissertation, ENGREF (AgroParisTech)).
- [22] Ross, R. J. (2010). *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190.
- [23] Fernandez, C. (2006). Caractérisation et modélisation du comportement au feu de poutres en bois lamellé collé (Doctoral dissertation, Nancy 1).
- [24] Touloum, F., Benchabane, A., & Kaci, A. (2011). Nouveau bio-composite local à base de fibres cellulosiques. Application à l'isolation thermique en bâtiment. Premier Séminaire National de Génie Mécanique (SNGM01) Biskra.
- [25] Deon, G., & Schwartz, R. (1988). Résistance naturelle des bois tropicaux aux attaques biologiques. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 135(3), 37-48.
- [26] Lacroix, J. P. (2006). *Bois de Tonnellerie. Le gerfaut*.
- [27] Dupraz, P. A., Mooser, M., & Pflug, D. (2009). Dimensionnement des structures en bois: aide au calcul basé sur la SIA 265 "Construciton en bois". PPUR presses polytechniques.
- [28] Épaud, F. (2007). De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie: évolution des techniques et des structures de charpenterie du XIIe au XIIIe siècles. Publications du CRAHM.
- [29] Masatsugu, N., Cluzel, J. S., & Bonnin, P. (2007). «Authenticité» et reconstruction de la mémoire dans l'architecture monumentale japonaise. *Espaces et sociétés*, (4), 153-170.
- [30] Chadefaud, C. (2008). À la recherche de l'or, de la turquoise, du cèdre et des parfums précieux. Les expéditions royales dans l'Égypte ancienne. *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques*, 130(3), 11-23.
- [31] Blin-Lacroix, J. L., & Roy, J. P. (2011). *Le dictionnaire professionnel du BTP*. Paris: Editions Eyrolles
- [32] Damay, J. (2014). Développement de nouveaux traitements du bois basés sur le procédé d'imprégnation axiale (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [33] Raji, S. (2006). Caractérisation hygro-thermique, par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).
- [34] Paradis, T., Monnier, C., Deloison, R., Marechaux, F., & Lego, J. P. (2004). *Le Bois dans la*

construction. Revue forestière française, 56(sp), 81-94.

[35] Imen CHIKHI. (2018). LA FILIÈRE BOIS, ARTEFACT ET CATALYSEUR POUR UNE CONSTRUCTION 4.0 AU QUÉBEC.

[36] Dégez, A. (1980). Le colombage vannetais: essai de classification et de datation des maisons en pan de bois à Vannes.

[37] Boto-Varela, G., Hartmann-Virnich, A., Nussbaum, N., Reveyron, N., & Tallon, A. (2012). Archéologie du bâti: du mètre au laser. Perspective. Actualité en histoire de l'art, (2), 329-346.

[38] de Deschambault, S. J. Les presbytères et autres résidences individuelles à caractère religieux. Parmi les plus beaux exemples d'habitations québécoises.

[39] Marchal, R. (1988). La construction bois: la maison à ossature bois. Forêt Méditerranéenne, 10(1), 308-312.

[40] Benoit, Y., & Paradis, T. (2009). Construction de maisons a ossature bois. Editions Eyrolles.

[41] Faye, C. (2015). Comportement parasismique des murs ossature bois avec panneaux OSB agrafés SISBOIS.

[42] Vinel, A., Rochez, C., Latteur, P., Jasienski, J. P., Doneux, C., & Geno, J. " Etude d'un plancher actif pour la construction multi-étagée en bois de hêtre.

[43] Barral, P., Joly, M., Jean-Jaurès, U. M. R., Glaus, M., & Archeotech, S. A. (2021). BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ARCHÉOLOGIE CLASSIQUE.

[44] Grigoletto, S., Paul, J., Lebeau, F., Courard, L., & Moutschen, P. (2015). Applications de la terre crue en construction.

[45] Natterer, J. (2004). Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement (Vol. 13). PPUR presses polytechniques.

[46] DANWE, R., LEMBE, D. D., & MEVA'A, L. Une méthode modulaire pour l'assemblage des structures en bois.

[47] Roulet, C. A. (2004). Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments (Vol. 22). PPUR presses polytechniques.