

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par : BOUDOUR Mayssa

---

---

**Thème : Conception générale des Immeubles de Grande Hauteur et leur faisabilité en Algérie**

---

---

Sous la direction de : Pr CHERAIT Yacine

---

Juin 2025

---



## REMERCIEMENTS

*Je rends tout d'abord grâce à Dieu Tout-Puissant, qui m'a accordé la santé, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à terme ce travail. Sans Sa volonté, ce mémoire de master n'aurait pu aboutir.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadreur, Monsieur le professeur **CHERAÏT Yacine**, pour la qualité de son accompagnement, sa rigueur scientifique, ses conseils éclairés et sa disponibilité constante tout au long de ce travail.*

*J'adresse également mes vifs remerciements **aux Membres du jury**, pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce mémoire, ainsi que pour leurs observations et suggestions qui contribueront à l'enrichissement de ce travail.*

*Mes remerciements aussi à l'ensemble du personnel du **Bureau d'études de la Wilaya de Guelma**, pour leur accueil, leur encadrement durant mon stage, et leur précieuse contribution sur les plans technique et documentaire.*

*Je remercie par aussi l'équipe de formation et le personnel administratif du Master 2 Génie Civil – Spécialité Structures, ainsi que tous les enseignants qui ont su transmettre leur savoir avec professionnalisme et engagement.*

*Enfin, j'exprime ma reconnaissance et ma gratitude à ma famille pour son soutien moral constant, sa patience et ses encouragements tout au long de mon parcours universitaire.*

**Merci à tous !**



## **Dédicaces**

*Je dédie ce mémoire avec toute ma reconnaissance et mon affection :*

### **À mes parents bien-aimés,**

*Vous êtes la source de ma force et de ma détermination. Votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux, votre patience infinie et vos prières constantes ont été les piliers de mon parcours. Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans votre présence à mes côtés, dans les moments faciles comme dans les plus difficiles. Que Dieu vous récompense pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

### **À ma sœur et à mon frère,**

*Merci pour votre soutien, vos encouragements et votre présence rassurante. Vos mots, vos attentions et votre confiance en mes capacités m'ont donné la force d'avancer. Vous avez toujours su trouver les mots justes pour apaiser mes inquiétudes.*

### **À mon mari,**

*Ton soutien moral, ta patience, ton écoute et ta bienveillance ont été essentiels tout au long de cette période exigeante. Merci d'avoir cru en moi, de m'avoir motivée dans les moments de doute, et d'avoir partagé avec moi les hauts comme les bas de ce travail. Ton soutien m'a permis d'aller au bout de ce projet avec sérénité.*

### **À mes précieuses amies,**

*Votre amitié, vos conseils, vos encouragements et votre présence m'ont été d'un grand réconfort tout au long de mon parcours universitaire. Merci pour vos mots positifs, vos échanges sincères, et pour avoir été là dans les moments de stress comme dans ceux de joie.*

*Pour tous ceux qui ont fait partie de ma vie, qui ont contribué à façonner mon parcours et ont laissé une empreinte indélébile dans mon cœur, je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude.*

## RÉSUMÉ

La conception des Immeubles de Grande Hauteur (IGH) représente un défi majeur pour les ingénieurs et architectes modernes, mêlant innovation technique et adaptation aux contraintes locales. Ce mémoire traite de la conception générale et du comportement des gratte-ciels, en explorant d'abord leur historique, depuis les premiers bâtiments emblématiques jusqu'aux structures contemporaines. Il analyse ensuite les éléments porteurs essentiels, tels que les ossatures en acier et en béton armé, qui assurent la stabilité de ces constructions hors normes. Les systèmes de contreventement, indispensables pour résister aux forces horizontales, sont également détaillés à travers différents modèles (noyaux rigides, tubes, structures hybrides). L'étude se poursuit avec l'analyse du comportement des gratte-ciel face aux aléas naturels, notamment le vent, les séismes et les incendies, en mettant en avant les stratégies de conception pour limiter leurs risques et dégâts.

Enfin, une réflexion est menée sur la faisabilité de tels projets en Algérie, en évaluant les défis techniques, économiques et réglementaires, ainsi que les opportunités offertes par le développement urbain. À travers cette approche, ce mémoire vise à apporter une contribution à la compréhension des enjeux techniques et stratégiques liés à l'édification des gratte-ciels dans le contexte national.

**Les mots clés :** Immeubles de Grande Hauteur, Comportement structurel, Vent, Séisme, Incendie, Systèmes de contreventement, Béton armé, Faisabilité-Algérie.

## ABSTRACT

The design of high-rise buildings represents a major challenge for modern engineers and architects, combining technical innovation and adaptation to local constraints. This thesis deals with the general design of skyscrapers, first exploring their history, from the first emblematic buildings to contemporary structures. It then analyzes the essential supporting elements, such as steel and reinforced concrete frames, which ensure the stability of these non-standard constructions. The bracing systems, essential to resist horizontal forces, are also detailed through different models (rigid cores, tubes, hybrid structures). The study continues with the analysis of the behaviour of skyscrapers in the face of natural hazards, including wind, earthquakes and fires, highlighting design strategies to limit risks.

Finally, a reflection is conducted on the feasibility of such projects in Algeria, assessing the technical, economic and regulatory challenges, as well as the opportunities offered by urban development. Through this approach, this thesis aims to contribute to the understanding of the technical and strategic issues related to the construction of skyscrapers in the national context.

**Keywords:** High-rise buildings, Structural behaviour, Wind, Earthquake, Fire, Bracing systems, Reinforced concrete, Feasibility-Algeria.

## ملخص

يمثل تصميم المباني الشاهقة تحديًا كبيرًا للمهندسين والمعماريين المعاصرين، حيث يجمع بين الابتكار التقني والتكيف مع القيود المحلية. تتناول هذه الأطروحة التصميم العام لناطحات السحاب، وتستكشف أولاً تاريخها، بدءًا من المباني الرمزية الأولى وحتى الهياكل المعاصرة. ثم يقوم بتحليل العناصر الداعمة الأساسية، مثل الهياكل الفولاذية والخرسانية المسلحة، التي تضمن استقرار هذه المنشآت غير القياسية. يتم أيضًا تفصيل أنظمة التدعيم، الضرورية لمقاومة القوى الأفقية، من خلال نماذج مختلفة (النوى الصلبة، والأنابيب، والهياكل الهجينة). وتستمر الدراسة بتحليل سلوك ناطحات السحاب في مواجهة المخاطر الطبيعية، بما في ذلك الرياح والزلازل والحرائق، مع تسليط الضوء على استراتيجيات التصميم للحد من المخاطر. وأخيرًا، يتم التفكير في جدوى مثل هذه المشاريع في الجزائر، وتقييم التحديات الفنية والاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية:** المباني الشاهقة، السلوك الهيكلي، الرياح، الزلازل، الحرائق، أنظمة التدعيم، الخرسانة المسلحة، الجدوى-الجزائر.

# Table des matières

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| Remerciements.....                                                     |     |
| dedicaces .....                                                        |     |
| resume .....                                                           | I   |
| abstract .....                                                         | II  |
| ملخص .....                                                             | III |
| liste des figures.....                                                 | I   |
| liste des tableaux .....                                               | I   |
| introduction generale.....                                             | 1   |
| <b>chapitre I :généralités et historique des igh</b>                   |     |
| i. Definition des gratte-ciels .....                                   | 4   |
| I.1. Historique des gratte-ciels.....                                  | 4   |
| II. Exemples de gratte-ciels .....                                     | 6   |
| III. Quelques projets futuristes dans le domaine des gratte-ciels..... | 13  |
| IV. Conclusion .....                                                   | 16  |
| références bibliographiques.....                                       | 17  |
| <b>chapitre II: conception des éléments porteurs des igh</b>           |     |
| I. Introduction .....                                                  | 19  |
| II. Les poteaux.....                                                   | 19  |
| II.1. Types de poteaux .....                                           | 19  |
| II.1.1. Poteaux en beton arme .....                                    | 19  |
| II.1.2. Poteaux en beton precontraint .....                            | 22  |
| II.1.3. Poteaux en acier .....                                         | 24  |
| II.1.4. Poteaux mixtes (acier-beton).....                              | 26  |
| II.1.4.1. Types de poteaux mixtes.....                                 | 26  |
| II.1.5. Poteaux avec corbeaux.....                                     | 28  |
| III. Les poutres .....                                                 | 30  |
| III.1. Types de poutres.....                                           | 30  |
| III.1.1. Poutres en acier.....                                         | 30  |
| III.1.2. Poutres en beton arme.....                                    | 32  |
| III.1.3. Poutres en beton precontraint .....                           | 34  |
| IV. Les planchers .....                                                | 36  |
| IV.1. Types de planchers utilises dans les igh .....                   | 36  |
| IV.1.1. Caracteristiques generales .....                               | 36  |
| IV.1.2. Planchers en beton.....                                        | 36  |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.1.3. Planchers mixtes beton-acier .....                                        | 38 |
| V. Les noyaux centraux.....                                                       | 40 |
| V.1. Role du noyau central.....                                                   | 41 |
| V.2. Types de noyaux centraux .....                                               | 41 |
| 1. Noyau en beton arme.....                                                       | 41 |
| 1.1. Caractéristiques générales .....                                             | 42 |
| 1.2. Avantages des noyaux centraux en beton arme .....                            | 42 |
| 1.3. Inconvénients .....                                                          | 42 |
| 2.1. Caractéristiques .....                                                       | 44 |
| 2.2. Avantages .....                                                              | 44 |
| 2.3. Inconvénients .....                                                          | 44 |
| 2.4. Exemples d'utilisation des noyaux en acier .....                             | 44 |
| 3. Noyau mixte (béton + acier).....                                               | 45 |
| 3.1. Caractéristiques .....                                                       | 45 |
| 3.2. Exemples d'utilisation de noyau mixte .....                                  | 45 |
| VI. Les fondations.....                                                           | 46 |
| VI.1. Role des fondations .....                                                   | 46 |
| VI.2. Les fondations profondes .....                                              | 46 |
| VI.2.1. Types de fondations profondes .....                                       | 47 |
| 1. Les pieux .....                                                                | 47 |
| 1.1. Types de pieux.....                                                          | 47 |
| 1.2. Utilisation .....                                                            | 47 |
| 1.3. Mode de réalisation des fondations profondes.....                            | 47 |
| 2. Barrettes .....                                                                | 49 |
| 2.1. Utilisation .....                                                            | 49 |
| 2.2. Avantages des barrettes .....                                                | 50 |
| 2.3. Exemple d'utilisation de barrettes dans les igh.....                         | 50 |
| 3. Les caissons.....                                                              | 50 |
| 3.1. Utilisation .....                                                            | 51 |
| références bibliographiques.....                                                  | 53 |
| <b>chapitre III: systèmes de contreventement des igh</b>                          |    |
| I. Introduction .....                                                             | 58 |
| I.1. Définition du contreventement.....                                           | 58 |
| II. Principaux types de systemes de contreventement.....                          | 58 |
| II.1. Les systemes a triangulation (treillis ou contreventements diagonaux) ..... | 58 |
| II.2. Les systemes en cadres rigides.....                                         | 59 |
| II.3. Les systemes a noyau central .....                                          | 60 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.4. Les systemes tubulaires .....                                                        | 61 |
| II.5. Les systemes hybrides .....                                                          | 63 |
| III. Criteres de choix d'un systeme de contreventement.....                                | 64 |
| <b>chapitre IV: comportement des igh face aux vent, séisme, et incendies</b>               |    |
| I. Introduction .....                                                                      | 68 |
| II. Comportement vis-a-vis du vent.....                                                    | 68 |
| II.1. Introduction .....                                                                   | 68 |
| II.2. Caracteristiques physiques du vent .....                                             | 69 |
| II.3. Effets du vent sur les structures de grande hauteur .....                            | 69 |
| II.4. Les principales solutions anti-vent dans les igh .....                               | 70 |
| II.4.1. Forme aerodynamique du batiment.....                                               | 70 |
| II.4.2. Ouvertures et retraits dans la structure .....                                     | 71 |
| II.4.3. Structures tres rigides.....                                                       | 72 |
| II.4.4. Amortisseurs de masse (tmd) .....                                                  | 73 |
| II.4.5. Tests en soufflerie et simulations numeriques.....                                 | 74 |
| III. Comportement des igh vis-a-vis du seisme .....                                        | 75 |
| <b>III.1. Introduction</b> .....                                                           | 76 |
| III.2. Effets du seisme sur les immeubles de grande hauteur .....                          | 76 |
| III.3. Principales strategies de protection sismique des immeubles de grande hauteur ..... | 78 |
| III.3.1. Conception structurale optimisee.....                                             | 79 |
| III.3.2. Conception ductile des elements structuraux .....                                 | 80 |
| III.3.3. Isolation sismique a la base .....                                                | 80 |
| III.3.4. Dispositifs de dissipation d'energie .....                                        | 82 |
| III.3.5. Analyses dynamiques non lineaires avancees .....                                  | 82 |
| IV. Comportement vis-a-vis du feu .....                                                    | 83 |
| IV.1. Introduction.....                                                                    | 83 |
| IV.2. Effets du feu sur la structure.....                                                  | 84 |
| IV.3. Strategies de protection incendie dans les igh .....                                 | 85 |
| IV.3.1. Compartimentation et resistance au feu .....                                       | 85 |
| IV.3.2. Systemes de detection et d'alarme .....                                            | 86 |
| IV.3.3. Desenfumage et evacuation .....                                                    | 86 |
| IV.3.4. Service de securite incendie et d'assistance personnes (ssiap) .....               | 86 |
| IV.3.5. Maintenance et controles reguliers .....                                           | 87 |
| IV.3.6. Adaptation aux nouveaux defis .....                                                | 87 |
| <b>V.4. Conclusion</b> .....                                                               | 87 |
| <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....                                                   | 88 |

## Chapitre V : Faisabilité de la réalisation des IGH en Algérie

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| I. Introduction .....                                                         | 91        |
| II. Problemes techniques rencontres en algerie.....                           | 91        |
| III. Defis techniques a relever pour la construction des igh en algerie ..... | 94        |
| III.1. Élaboration d’une reglementation specifique aux igh.....               | 95        |
| III.2. Renforcement des capacites techniques nationales .....                 | 95        |
| III.3. Valorisation des competences humaines specialisees .....               | 95        |
| III.4. Modernisation des bureaux d’études et du controle technique.....       | 96        |
| III.5. Anticipation de l’exploitation et de la maintenance .....              | 96        |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>                                      | <b>98</b> |
| <b>conclusion générale</b>                                                    |           |
| Conclusion générale.....                                                      | 100       |

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralités et historique des IGH

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure I. 1 :</b> Le Home Insurance Building .....                           | 5  |
| <b>Figure I. 2 :</b> Burj Khalifa (UEA) . ....                                  | 6  |
| <b>Figure I. 3 :</b> Pyramides de Khéops, Khephren et Mykérinos (Egypte) . .... | 6  |
| <b>Figure I. 4 :</b> Burj Khalifa .....                                         | 7  |
| <b>Figure I. 5 :</b> Makkah Clock Royal Tower Hotel .....                       | 8  |
| <b>Figure I. 6 :</b> Le One World Trade Center à New York. ....                 | 8  |
| <b>Figure I. 7 :</b> La tour de Taipei 101(Taiwan) .....                        | 9  |
| <b>Figure I. 8 :</b> Shanghai Tower (Chine) .....                               | 10 |
| <b>Figure I. 9 :</b> Guangzhou International Finance Center .....               | 10 |
| <b>Figure I. 10 :</b> Grand Hyatt Shanghai Hôtel en Chine .....                 | 11 |
| <b>Figure I. 11 :</b> Le quartier de Dubaï Marina (UEA) . ....                  | 12 |
| <b>Figure I. 12 :</b> Al Hamra Tower (Koweït) .....                             | 13 |
| <b>Figure I. 13 :</b> Gratte-ciel de 2 km en Arabie Saoudite . ....             | 14 |
| <b>Figure I. 14:</b> Sky Mile Tower .....                                       | 15 |
| <b>Figure I. 15 :</b> Le Mukaab, futur plus grand bâtiment au monde .....       | 15 |
| <b>Figure I. 16 :</b> The Vertical City (Chine) .....                           | 16 |

### Chapitre II : Conception des éléments porteurs des IGH

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure II. 1 :</b> Poteaux en béton armé .....                          | 19 |
| <b>Figure II. 2 :</b> Encuvement du poteau .....                           | 22 |
| <b>Figure II.3:</b> Poteau en béton précontraint .....                     | 23 |
| <b>Figure II.4:</b> Poteaux en Acier .....                                 | 25 |
| <b>Figure II. 5 :</b> poteau mixte Acier-Béton .....                       | 26 |
| <b>Figure II. 6 :</b> Poteaux tubulaires CFT .....                         | 27 |
| <b>Figure II. 7 :</b> Poteau en acier avec noyau en béton .....            | 28 |
| <b>Figure II. 8 :</b> Poteaux avec corbeaux .....                          | 29 |
| <b>Figure II. 9 :</b> Poutre en H .....                                    | 30 |
| <b>Figure II. 10 :</b> Poutre en treillis .....                            | 31 |
| <b>Figure II. 11 :</b> Poutre mixte acier-béton .....                      | 31 |
| <b>Figure II. 12 :</b> Poutre pleine en béton armé .....                   | 32 |
| <b>Figure II. 13 :</b> Poutres à hauteur variable .....                    | 33 |
| <b>Figure II. 14 :</b> Poutre console en BA .....                          | 34 |
| <b>Figure II. 15 :</b> Poutres-caisson .....                               | 34 |
| <b>Figure II. 16 :</b> Poutres précontrainte .....                         | 35 |
| <b>Figure II.17:</b> Plancher en dalle pleine .....                        | 37 |
| <b>Figure II. 18 :</b> Dalle alvéolée en béton précontraint .....          | 37 |
| <b>Figure II. 19 :</b> Plancher champignon .....                           | 38 |
| <b>Figure II. 20 :</b> Plancher dalle mixte .....                          | 39 |
| <b>Figure II. 21 :</b> Plancher collaborant .....                          | 39 |
| <b>Figure II. 22 :</b> Plancher mixte avec poutrelle en acier .....        | 40 |
| <b>Figure II. 23 :</b> Représentation schématique d'un noyau central ..... | 41 |
| <b>Figure II. 24 :</b> Noyau en béton armé .....                           | 42 |
| <b>Figure II. 25 :</b> La tour du Burj khalifa.....                        | 43 |
| <b>Figure II. 26 :</b> Noyau central en acier .....                        | 43 |
| <b>Figure II. 27 :</b> John Hancock center(Chicago, USA) .....             | 45 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure II. 28</b> : Noyau central du one world Trade center .....        | 46 |
| <b>Figure II. 29</b> : Méthode de réalisation des fondations profondes..... | 48 |
| <b>Figure II. 30</b> : Fondations du Burj Khalifa. ....                     | 48 |
| <b>Figure II. 31</b> : Les fondations du Shanghai Tower(chine). ....        | 49 |
| <b>Figure II. 32</b> :Barette en béton armé .....                           | 49 |
| <b>Figure II. 33</b> : Fondation du tours jumelles patronna(Malaisie) ..... | 50 |
| <b>Figure II. 34</b> :Caisson de fondation .....                            | 51 |

### Chapitre III : Systèmes de contreventement des IGH

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III. 1</b> : Différentes formes de contreventements diagonaux .....                             | 59 |
| <b>Figure III. 2</b> : La tour Eiffel (France).....                                                       | 59 |
| <b>Figure III. 3</b> : Systèmes en cadres rigides .....                                                   | 60 |
| <b>Figure III. 4</b> : La tour de Montparnasse (France) en construction .....                             | 60 |
| <b>Figure III. 5</b> : Système à noyau central .....                                                      | 61 |
| <b>Figure III. 6</b> : Système tubulaire de Fazlur khan .....                                             | 62 |
| <b>Figure III. 7</b> : l'association d'un noyau central en bétonarmé avec des ceintures de rigidité. .... | 63 |
| <b>Figure III. 8</b> : Exosquelette en acier .....                                                        | 64 |

### Chapitre IV : Comportement des IGH face aux vent, séisme, et incendies

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure IV. 1</b> : Action du vent. ....                                              | 69 |
| <b>Figure IV. 2</b> : La Shanghai Tower (Chine).....                                    | 71 |
| <b>Figure IV. 3</b> : La forme en Y de la Burj khalifa (UEA) .....                      | 72 |
| <b>Figure IV. 4</b> : La willis Tower à Chicago (USA) .....                             | 72 |
| <b>Figure IV. 5</b> : La Bank of china Tower (Chine) .....                              | 73 |
| <b>Figure IV. 6</b> : L'emplacement de l'amortisseur de la Taipei 101 .....             | 74 |
| <b>Figure IV. 7</b> : Test en soufflerie de la tour The Shard .....                     | 75 |
| <b>Figure IV. 8</b> : Maquette pour le test en soufflerie du Burj Khalifa .....         | 75 |
| <b>Figure IV. 9</b> : Effets du séisme sur les IGH .....                                | 78 |
| <b>Figure IV. 10</b> : Séisme en Turquie le 06 février 2023 .....                       | 78 |
| <b>Figure IV. 11</b> : Séisme meurtrier à Taiwan .....                                  | 79 |
| <b>Figure IV. 12</b> : Structure 3D avec noyau central de contreventement . ....        | 80 |
| <b>Figure IV. 13</b> : Isolation sismique à la base .....                               | 81 |
| <b>Figure IV. 14</b> : Système d'isolation à la base de la grande mosquée d'Alger ..... | 81 |
| <b>Figure IV. 15</b> : la grande mosquée d'Alger [35]. ....                             | 82 |
| <b>Figure IV. 16</b> : l'Amortisseur de masse accordé à Taïpeh 101 .....                | 82 |
| <b>Figure IV. 17</b> : L'incendie de la tour Grenfell à Londres (2017) .....            | 85 |

### Chapitre V : Faisabilité de la réalisation des IGH en Algérie

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure V. 1</b> : Système de désenfumage .....       | 92 |
| <b>Figure V. 2</b> : Exutoire de désenfumage .....      | 92 |
| <b>Figure V. 3</b> : Coffrage glissant (grimpant) ..... | 93 |
| <b>Figure V. 4</b> : Plateforme de stockage .....       | 94 |

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Généralités et historique des IGH

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau I.1</b> : Dimensions des pyramides .                                                    | 7  |
| <b>Tableau I. 2</b> : Fiche d'identification de Burj Khalifa .                                     | 7  |
| <b>Tableau I. 3</b> : Fiche d'identification du Mekkah clock royal tower hotel (Arabie Saoudite) . | 8  |
| <b>Tableau I. 4</b> : Fiche d'identification de One World Trade Center .                           | 9  |
| <b>Tableau I. 5</b> : Fiche d'identification de la tour Taipei 101 .                               | 9  |
| <b>Tableau I. 6</b> : Fiche d'identification de Shanghai Tower .                                   | 10 |
| <b>Tableau I. 7</b> : Fiche d'identification de Guangzhou international finance center .           | 11 |
| <b>Tableau I. 8</b> : Fiche d'identification de Jin Mao Tower .                                    | 11 |
| <b>Tableau I. 9</b> : Fiche d'identification de la 23 Marina .                                     | 12 |
| <b>Tableau I. 10</b> : Fiche d'identification de Al Hamra Tower .                                  | 13 |

---

# Introduction Générale

---

## Introduction générale

La densification des centres urbains, la rareté du foncier constructible et le désir de construire des ouvrages de plus en plus complexes ont conduit, depuis plusieurs décennies, à une transformation radicale de l'architecture contemporaine : l'essor des immeubles de grande hauteur. Ces édifices, communément appelés gratte-ciel, incarnent aujourd'hui bien plus qu'une prouesse technique : ils traduisent une évolution des usages, des ambitions économiques, mais aussi des défis sociétaux et environnementaux auxquels sont confrontées les grandes métropoles du XXI<sup>e</sup> siècle.

Concevoir un immeuble de grande hauteur ne se limite pas à une simple extension verticale de la construction traditionnelle. Il s'agit d'une démarche hautement complexe, mobilisant des savoir-faire pointus en ingénierie des structures, en dynamique des matériaux, en réglementation technique, et nécessitant l'intégration de multiples contraintes telles que la résistance au vent, la vulnérabilité sismique, la sécurité incendie, ou encore la logistique verticale (ascenseurs, évacuation, compartimentage, etc.). Ces bâtiments, en raison de leur échelle, imposent également une planification rigoureuse, tant sur le plan architectural que fonctionnel et réglementaire.

Alors que l'Amérique du Nord et l'Asie ont largement intégré ces structures dans leurs tissus urbains, l'Afrique du Nord, et plus particulièrement l'Algérie, amorce tout juste une réflexion sur leur place dans la planification urbaine. Quelques projets émergents témoignent d'une volonté de modernisation architecturale, mais la construction effective d'immeubles de grande hauteur en Algérie reste encore peu développée. Cela s'explique par un ensemble de facteurs convergents : un cadre réglementaire non encore adapté aux très grandes hauteurs, un contexte sismique contraignant, un déficit en expertise technique locale, ainsi qu'une absence de retour d'expérience conséquent.

Dans ce contexte, le présent mémoire de master, intitulé «*La conception générale des Immeubles de Grande Hauteur et leur faisabilité en Algérie*», s'inscrit dans une démarche d'analyse globale visant à identifier les conditions techniques, structurelles, normatives et économiques nécessaires à la mise en œuvre de ce type de construction dans le contexte Algérien.

Le travail est composé d'un résumé, d'une introduction générale, de cinq chapitres distincts et d'une conclusion.

- Le premier chapitre présente une revue générale et historique des gratte-ciels, depuis leurs origines jusqu'aux typologies les plus contemporaines, tout en mettant en évidence les tendances mondiales et les logiques d'intégration urbaine.
- Le deuxième chapitre est dédié à l'analyse des principaux éléments constituant les IGH : les poteaux, les poutres, les planchers, les noyaux centraux, et les fondations.
- Le troisième chapitre examine les systèmes de contreventement utilisés pour résister aux principales charges latérales (représentées par le vent et le séisme), en exposant leurs principes, typologies et critères de choix selon la hauteur, la forme et les contraintes locales.
- Le quatrième chapitre se focalise sur le comportement des IGH face aux aléas naturels, en particulier le vent, les séismes et le feu. L'analyse s'appuie notamment sur les normes internationales ainsi que sur les exigences du nouveau règlement Parasismique Algérien (RPA 2024).
- Le cinquième et dernier chapitre traite de la faisabilité de la construction d'immeubles de grande hauteur en Algérie, à travers l'étude des contraintes actuelles, des capacités techniques disponibles, et des leviers de développement à court et moyen terme.

Le mémoire est clos par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats de notre recherche bibliographique.

---

# Chapitre I

## Généralités et historique des IGH

---

### Résumé du premier chapitre :

Ce premier chapitre définit ce qu'est un gratte-ciel selon les critères techniques et architecturaux, puis retrace l'évolution historique de ces structures depuis leur apparition aux États-Unis à la fin du XIXe siècle jusqu'aux réalisations modernes à travers le monde. Il présente également plusieurs exemples emblématiques tels que l'Empire State Building, la Burj Khalifa ou encore la Shanghai Tower, illustrant l'évolution technologique et architecturale des immeubles de grande hauteur.

## Chapitre I

# Généralités et historique des IGH

## ***I. DÉFINITION DES GRATTE-CIELS***

Un gratte-ciel est un type de bâtiment de très grande hauteur, caractérisé par un nombre élevé d'étages et une empreinte au sol relativement réduite par rapport à sa hauteur totale. Ils sont apparus à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle aux États-Unis d'Amérique. Les gratte-ciels sont caractérisés par leur structure en acier ou en béton armé, leur permettant de s'élever à des hauteurs impressionnantes tout en restant stables [1], [2].

La hauteur minimale pour qu'un bâtiment soit qualifié de gratte-ciel varie selon les pays et les organisations. Ainsi aux États-Unis : le Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) fixe le seuil à 150 mètres, catégorisant les "supertall" au-delà de 300 mètres et les "megatall" à plus de 600 mètres, Au Royaume-Uni : on considère un gratte-ciel à partir de 100 mètres, tandis qu'en Chine, beaucoup dépassent 200 mètres sans seuil officiel. Au Japon, malgré les contraintes sismiques, les gratte-ciels débutent à 100 mètres, et en Allemagne, le seuil est fixé à 150 mètres, En France, les bâtiments de "très grande hauteur" (TGH) commencent à 50 mètres pour les habitations et 28 mètres pour les bureaux, bien que les véritables gratte-ciels dépassent souvent 100 mètres.

On peut voir à travers les différentes définitions qu'il n'existe pas de norme universelle sur la question, et un gratte-ciel est généralement perçu comme un bâtiment de plus de 100 mètres, impactant significativement le paysage urbain [3], [4], [5], [6].

### ***I.1. Historique des gratte-ciels***

C'est dans la ville de Chicago (USA) que l'on doit en premier l'élévation vers le ciel de l'architecture. Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, cette ville connaît une telle poussée démographique qu'elle ne trouve d'autre solution que de s'élever vers le ciel. C'est à cette période que naît l'école de Chicago, célèbre école d'urbanistes qui fait aujourd'hui référence dans le monde entier. Mais Chicago n'est pas la seule ville dont le développement urbain s'appuie sur cette nouvelle forme architecturale. New-York (USA) s'impose très vite en concurrente féroce. Reconnue mondialement pour ses exploits en matière de gratte-ciels, à commencer par l'Empire

State Building (1931), immeuble le plus haut du monde pendant plusieurs années, l'image de New-York est aujourd'hui dans l'inconscient collectif marquée par ses tours [7] [8].



**Figure I. 1:** Le Home Insurance Building [9].

Le Home Insurance Building, considéré comme le premier gratte-ciel de l'Histoire par certains, mesure 55 mètres de haut. Sa structure métallique, ses ascenseurs et son éclairage électrique en font un modèle d'innovations en dehors de sa grande hauteur [10]. Depuis les années 1980, la construction de gratte-ciel s'est développée tous les continents. C'est en Asie, dans des régions à forte croissance économique, que le développement fût le plus spectaculaire.

De nombreuses tours ont vu le jour ou sont en construction. La Taipei 101, inaugurée en 2004 à Taïwan, était, à l'époque de sa construction, le plus haut gratte-ciel achevé du monde. Les pays du Golfe, particulièrement les Émirats arabes unis, ont également multiplié les constructions. La Burj Khalifa a atteint, le 17 janvier 2010, sa hauteur finale de 828 mètres, ce qui en fait le plus haut gratte-ciel et la plus haute structure du monde, tandis que la Kingdom Tower à Djeddah (Arabie saoudite) devrait atteindre plus de 1 000 mètres pour 167 étages quand elle sera achevée en 2028 [12].



Figure I. 2: Burj Khalifa (UEA) [13].

## II. EXEMPLES DE GRATTE-CIELS

### - Les pyramides égyptiennes :

Les pyramides égyptiennes, notamment la grande pyramide de Khéops, peuvent être vues comme une forme primitive d'Immeubles de Grande Hauteur (IGH) dans un contexte historique. Avec une hauteur initiale de 146,6 mètres, cette structure monumentale dépassait toutes les constructions de son époque et incarnait une prouesse architecturale remarquable. Bien que les pyramides aient été destinées à des usages funéraires et non à des fonctions résidentiels ou commerciaux comme les gratte-ciels modernes, elles illustrent une quête similaire de verticalité et de stabilité structurelle. Construites avec des blocs massifs de calcaire et de granite, elles reflètent une ingénierie avancée qui préfigure les défis rencontrés dans la construction des IGH contemporains [14], [15].



Figure I. 3: Pyramides de Khéops, Khephren et Mykérinos (Egypte)[16].

**Tableau I.1 :** Dimensions des pyramides [17].

| Pyramide         | Hauteur initiale (m) | Hauteur actuelle (m) | Base (m) |
|------------------|----------------------|----------------------|----------|
| <b>Khéops</b>    | 146,6                | 138,8                | 230,4    |
| <b>Khephren</b>  | 143,5                | 136,4                | 215,3    |
| <b>Mykérinos</b> | 65                   | 62                   | 108,5    |

#### - **Burj Khalifa :**

Le plus haut gratte-ciel dans le monde se trouve dans la ville de Dubaï (UAE). Réceptionné en 2010, cet immeuble avec un design moderne, est composé de 160 étages dont des hôtels, des restaurants, des bureaux et des appartements résidentiels. La vitesse maximale que peut atteindre ses 57 ascenseurs est de 600mètres/minute [18].

**Figure I. 4:** Burj Khalifa [19].**Tableau I. 2:** Fiche d'identification de Burj Khalifa [20].

| Hauteur structurelle (m) | Hauteur dernier étage (m) | Étages | Année |
|--------------------------|---------------------------|--------|-------|
| 828                      | 584,5                     | 163    | 2010  |

#### - **Makkah Clock Royal Tower Hotel :**

La MakkahClock Royal Tower Hotel situé à ville Sainte de la Mecque (Arabie Saoudite), et réceptionné en 2012 présente une hauteur de 601 mètres [18].



Figure I. 5 : Makkah Clock Royal Tower Hotel [21].

Tableau I. 3 : Fiche d'identification du Mekkahclock royal towerhotel (Arabie Saoudite) [20]

| Ville     | Hauteur structurelle (m) | Hauteur dernier étage (m) | Nombre d'étages | Année de réception |
|-----------|--------------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|
| La Mecque | 601                      | 558,7                     | 120             | 2012               |

#### - One World Trade Center :

Ce gratte-ciel situé à New York (USA) est actuellement le plus élevé dans l'ensemble du continent américain. Sa construction est récente (2014) et le bâtiment de 541,3 mètres [18] de hauteur, comprend 104 étages, 5 étages souterrains et 74 ascenseurs. La construction des fondations a commencé en 2006.



Figure I. 6 : Le One World Trade Center à New York [22].

**Tableau I. 4 :** Fiche d'identification de One World Trade Center[20].

| <b>Hauteur structurelle<br/>(m)</b> | <b>Hauteur dernier étage<br/>(m)</b> | <b>Etages</b> | <b>Année</b> |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|
| <b>541,3</b>                        | <b>386,6</b>                         | <b>104</b>    | <b>2014</b>  |

- **Taipei 101 :**

Situé dans la ville de Taipei (Taiwan), ce bâtiment a ouvert ses portes au public en 2004. Il possède 101 étages. Sa forme fait penser à une structure de bambou et a été conçue par l'architecte Chung Ping Wang qui avec l'aide de l'étude de l'architecture Cyclée&Partner. Le bâtiment abrite des bureaux, des centres commerciaux et des restaurants. Ce bâtiment de 509,2 m de hauteur est devenu la plus grande éco-construction au monde [18].

**Figure I. 7 :** La tour de Taipei 101(Taiwan) [18].**Tableau I. 5 :** Fiche d'identification de la tour Taipei 101 [20].

| <b>Hauteur structurelle<br/>(m)</b> | <b>Hauteur dernier étage<br/>(m)</b> | <b>Etages</b> | <b>Année</b> |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|
| <b>509,2</b>                        | <b>439,2</b>                         | <b>101</b>    | <b>2004</b>  |

- **Shanghai Tower :**

En deuxième place du classement mondial sur les plus hauts gratte-ciels du monde, se trouve La Tour de Shanghai. Ce bâtiment comptera 121 chambres d'hôtel, des centres commerciaux, des bureaux et des logements en copropriété. C'est le bâtiment le plus haut de Chine. Ses étages seront au nombre de 128 et sa surface totale fera 380 000 mètres carrés.



**Figure I. 8 :** Shanghai Tower (Chine) [24].

**Tableau I. 6 :** Fiche d'identification de Shanghai Tower[20].

| <b>Hauteur structurelle<br/>(m)</b> | <b>Hauteur dernier étage<br/>(m)</b> | <b>Etages</b> | <b>Année</b> |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|
| <b>632 m</b>                        | <b>561,3</b>                         | <b>128</b>    | <b>2015</b>  |

**- Guangzhou CTF Finance Center :**

Ce gratte-ciel est situé à Guangzhou, en Chine. Les travaux de construction ont été réalisés en l'espace de quatre ans et achevée en 2010, l'année où la structure a été inaugurée. Il se compose de 103 étages et le nombre total de ses remontées mécaniques est de 71. Ce bâtiment est composé d'un centre de conférences, d'un hôtel et de bureaux [18].



**Figure I. 9 :** Guangzhou International Finance Center [25].

**Tableau I. 7 :** Fiche d'identification de Guangzhou international finance center [20]

| Ville  | Hauteur structurelle (m) | Hauteur dernier étage (m) | Etages | Année |
|--------|--------------------------|---------------------------|--------|-------|
| Canton | 439                      | 415.1                     | 103    | 2010  |

- **Jin Mao Tower :**

La tour Jin Mao (Chine) inaugurée en 1999. La tour possède 88 étages. La vitesse des ascenseurs est de 9 mètres à la seconde : ainsi, en 50 secondes un visiteur peut accéder au dernier étage en partant du rez-de-chaussée. Une verrière située au dernier étage offre une vue sur le hall de l'hôtel située une trentaine d'étages en contre-bas, et sur les galeries qui permettent l'accès aux chambres. Les plus violents types de tremblements de terre et de cyclones ont été analysés sur leur impact sur les bâtiments, et cette tour a donc été pensée pour résister à ce genre de conditions climatiques extrêmes[18].

**Figure I. 10 :** Grand Hyatt Shanghai Hôtel en Chine [26].**Tableau I. 8 :** Fiche d'identification de Jin Mao Tower [20].

| Hauteur structurelle (m) | Hauteur dernier étage (m) | Etages | Année |
|--------------------------|---------------------------|--------|-------|
| 421                      | 348,4                     | 88     | 1999  |

- **Marina :**

Dans le quartier de Dubaï Marina, aux Émirats Arabes, est situé à 23 Marina, se trouve le 3<sup>ème</sup> plus haut gratte-ciel de Dubaï. Ce gratte-ciel de 90 étages achevé en 2012, abrite

aujourd'hui 289 appartements et est doté de 8 remontées mécaniques. Ce bâtiment compte 57 piscines. Il y a 291 appartements au total dans cette tour [18].



**Figure I. 11** : Le quartier de Dubaï Marina (UEA) [27].

**Tableau I. 9** : Fiche d'identification de la 23 Marina [20].

| Ville | Hauteur structurelle (m) | Hauteur dernier étage (m) | Etages | Année |
|-------|--------------------------|---------------------------|--------|-------|
| Dubaï | 392,4                    | 313,5                     | 88     | 2012  |

- **Al Hamra Tower :**

Al Hamra Tower, situé dans la ville de Koweït city, est un gratte-ciel qui a une forme unique. Il rend hommage aux innovations dans le domaine de l'architecture et de l'ingénierie. Terminé en 2011, il se compose de 80 étages accessibles au public au-dessus du sol et de 3 étages souterrains. Il est composé de diverses parties pour des activités variées : des bureaux, un restaurant, un centre commercial de 6 étages, un hôtel et un parking qui peut accueillir au maximum 1 727 véhicules sur un total de 11 niveaux. Sa hauteur est de 412,6 mètres [18].



Figure I. 12 : Al Hamra Tower (Koweït) [28].

Tableau I. 10 : Fiche d'identification de Al Hamra Tower [20].

| Hauteur structurelle<br>(m) | Hauteur dernier étages<br>(m) | Nombre d'étages | Année |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| 412,6                       | 371,4                         | 80              | 2011  |

### III. QUELQUES PROJETS FUTURISTES DANS LE DOMAINE DES GRATTE-CIELS

Les projets futuristes de gratte-ciel à travers le monde reflètent une ambition croissante pour repousser les limites architecturales tout en intégrant des technologies durables et innovantes. Ces structures ne sont plus seulement des symboles de puissance économique, mais aussi des icônes visuelles marquantes qui redéfinissent les paysages urbains mondiaux.

#### - Arabie Saoudite :

L'Arabie Saoudite envisage de construire un gratte-ciel de 2 kilomètres de hauteur à Riyad, ce qui en ferait le plus haut bâtiment du monde. Les défis techniques d'un tel projet incluent la gestion des charges dues au vent à de telles altitudes et la conception de fondations capables de supporter le poids immense de la structure. Le coût estimé du projet est d'environ 5 milliards de dollars [29], [30].



**Figure I. 13 :** Gratte-ciel de 2 km en Arabie Saoudite [31].

**- Sky Mile Tower au Japon :**

Le projet Sky Mile Tower au Japon incarne parfaitement l'architecture futuriste. Située dans la baie de Tokyo, cette tour prévue pour atteindre 1 700 mètres de hauteur s'inscrit dans le cadre du projet Next Tokyo, une initiative visant à construire une ville flottante capable d'accueillir plus de 500 000 personnes. Conçue pour répondre aux enjeux de la croissance urbaine et du changement climatique, cette structure hexagonale innovante servira à la fois d'habitat pour environ 55 000 résidents et de modèle écologique intégré [32].

La Sky Mile Tower intègre des technologies durables, comme la production d'énergie verte via des panneaux solaires et la récupération de l'eau atmosphérique. Elle est équipée d'ascenseurs ultrarapides utilisant des systèmes magnétiques de pointe, tandis que des terrasses publiques et des espaces verts répartis à différents niveaux améliorent la qualité de vie des habitants. Le projet comprend également des fonctions urbaines complètes : commerces, restaurants, bureaux, centres médicaux et même des zones agricoles [33].

Cependant, ce projet ambitieux doit relever des défis majeurs, notamment en matière de stabilité face aux séismes et aux typhons, fréquents au Japon, ainsi que dans la gestion du poids colossal de la structure, nécessitant l'utilisation de matériaux à la fois légers et résistants. Malgré ces obstacles techniques et financiers, la Sky Mile Tower incarne une vision audacieuse de l'architecture japonaise, alliant durabilité, résilience et bien-être dans un cadre urbain futuriste et visionnaire [33].



Figure I. 14 : Sky Mile Tower [34].

- **Le Mukaab (Arabie Saoudite) :**

Le Mukaab est un projet architectural ambitieux situé à Riyad (Arabie Saoudite). Conçu sous la forme d'un gigantesque cube de 400 mètres de côté, il s'inspire de l'architecture traditionnelle Najdi tout en adoptant une esthétique futuriste. Ce monument spectaculaire vise à devenir un centre commercial et culturel incontournable, regroupant des boutiques, hôtels, résidences, restaurants et expériences immersives en 3D grâce à des technologies numériques avancées.

Avec une capacité intérieure colossale équivalente à 20 fois celle de l'Empire State Building, Le Mukaab est conçu pour être un modèle de ville intelligente et durable, intégrant des systèmes de gestion optimisés pour réduire les déchets et favoriser l'utilisation d'énergie verte. Prévu pour être achevé d'ici 2030, ce projet témoigne de l'ambition de l'Arabie Saoudite de devenir une référence mondiale en matière d'innovation urbaine et culturelle [35], [36].



Figure I. 15 : Le Mukaab, futur plus grand bâtiment au monde [37]

### - The Vertical City (Chine) :

La Ville Verticale en Chine est un projet architectural monumental qui s'élève à environ 2 kilomètres de hauteur, proposant une ville autonome intégrant tous les éléments essentiels de la vie moderne : logements, bureaux, commerces, écoles et espaces de loisirs. Pour assurer son autonomie, la tour intègre plusieurs systèmes écologiques avancés : des jardins suspendus et des fermes verticales pour la production locale de nourriture, des panneaux solaires et des éoliennes pour l'énergie renouvelable, ainsi qu'un système sophistiqué de récupération des eaux pluviales. Les défis principaux incluent la stabilité structurelle face aux vents violents et aux séismes, la gestion efficace des ressources, et l'adaptation psychologique des habitants à la vie verticale. Bien que ce projet reste théorique, il illustre parfaitement la vision chinoise d'une urbanisation durable et représente une solution potentielle aux défis démographiques et environnementaux du XXI<sup>e</sup> siècle [38], [39].



**Figure I. 16 :** The Vertical City (Chine) [40].

## IV. CONCLUSION

Les gratte-ciels représentent une évolution majeure de l'architecture moderne, née de la densification urbaine et du progrès technique. Leur développement mondial témoigne d'une forte ambition économique et symbolique. À travers des exemples emblématiques et des projets futuristes, on observe une tendance vers des constructions toujours plus hautes et complexes.

Cette revue historique permet de mieux comprendre les enjeux associés à ces structures. Elle constitue une base pour aborder les aspects techniques dans les chapitres suivants.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <https://www.techno-science.net/definition/4277.html>.
- [2] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Gratte-ciel.html>.
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gratte-ciel>.
- [4] <https://pedagogie.ac-lille.fr/histoire-geographie/wp-content/uploads/sites/8/2021/05/Les-villes-qui-erigent-le-plus-de-gratte-ciels-1.pdf>.
- [5] <https://www.ctbuh.org/criteria/>.
- [6] <https://pastel.hal.science/tel-02138966/file/TH2014PEST1130.pdf>
- [7] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Home\\_Insurance\\_Building#/media/Fichier:Home\\_Insurance\\_Building](https://fr.wikipedia.org/wiki/Home_Insurance_Building#/media/Fichier:Home_Insurance_Building)
- [8] <https://d6ameriscape.wordpress.com/2013/06/06/le-gratte-ciel-entre-mythe-et-realite/>
- [9] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Home\\_Insurance\\_Building.JPG?uselang=f](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Home_Insurance_Building.JPG?uselang=f)
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Home\\_Insurance\\_Building](https://en.wikipedia.org/wiki/Home_Insurance_Building)
- [11] <https://buildingtheskyline.org/jenney-myth-1/>
- [12] <https://shs.hal.science/halshs-00598437v1/document>
- [13] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/93/Burj\\_Khalifa.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/93/Burj_Khalifa.jpg)
- [14] <https://www.cnews.fr/monde/2024-08-06/pyramides-degypte-cette-incroyable-nouvelle-theorie-qui-pourrait-expliquer-leur>
- [15] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9ories\\_sur\\_la\\_m%C3%A9thode\\_de\\_construction\\_des\\_pyramides](https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9ories_sur_la_m%C3%A9thode_de_construction_des_pyramides)
- [16] <https://d2u1z1l0pyfwlx.cloudfront.net/thumbnails/17f41914-96ff-58e4-ab14->
- [17] <https://www.merveilles-du-monde.com/Pyramides-d-Egypte/Dimensions-des-pyramides-d->
- [18] <https://www.novoceram.fr/blog/architecture/plus-hauts-gratte-ciels>
- [19] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/93/Burj\\_Khalifa.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/93/Burj_Khalifa.jpg)
- [20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gratte-ciel>
- [21] <https://cdnilcnahp.nitrocdn.com/qkkDsRkHEPCldSqeUkPDjpgrKShkhiGg/assets/images/optimize>
- [22] <https://cdnilcnahp.nitrocdn.com/qkkDsRkHEPCldSqeUkPDjpgrKShkhiGg/assets/images/optimize>
- [23] <https://skyscraper.org/tallest-towers/taipei-101/>
- [24] <https://www.pinterest.com/pin/211174975139748/>
- [25] <https://www.archdaily.com/259172/ctf-guangzhou-kpf>
- [26] <https://jin-mao-tower.wheree.com/>
- [27] <https://cdnilcnahp.nitrocdn.com/qkkDsRkHEPCldSqeUkPDjpgrKShkhiGg/assets/images/optimize>
- [28] <https://www.meinhardtmena.com/projects/al-hamra-tower/>
- [29] <https://sciencepost.fr/projet-fou-gratte-ciel-de-2-km-arabie-saoudite/>
- [30] <https://www.vietnam.vn/fr/arab-saudi-se-xay-toa-nha-choc-troi-cao-2-km>
- [31] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3D3TzevoIJ>
- [32] <https://www.konbini.com/archive/tokyo-plus-haute-tour-monde/>
- [33] [https://www.bfmtv.com/economie/entreprises/btp/un-projet-fou-pour-tokyo-cette-tour-de-1-700-metres-et-55-000-residents\\_AN-201602200079.html](https://www.bfmtv.com/economie/entreprises/btp/un-projet-fou-pour-tokyo-cette-tour-de-1-700-metres-et-55-000-residents_AN-201602200079.html)
- [34] <https://www.urukia.com/sky-mile-tower/>
- [35] <https://ingebime.fr/news/mukaab-gratte-ciel-cubique-revolutionnaire-arabie-saoudite-riyad/>
- [36] <https://www.journaldugeek.com/2024/11/11/le-mukaab-lextro-avant-futur-cube-geant-au-coeur-de-riyad/>
- [37] <https://www.parismatch.com/actu/international/la-construction-du-plus-grand-cube-du-monde-debuta-en-arabie-saoudite-243257>
- [38] <https://amusementlogic.fr/nouvelles-generales/complexe-vertical-de-forest-city-chine/>
- [39] <https://www.batiactu.com/edito/asian-cairns-ville-verticale-biomimetique-34529.php>
- [40] <https://amusementlogic.es/wp-content/uploads/2022/03/BOSQUE-VERTICAL-STEFAANO-BOERI-ARCHITETTI-2.jpg>

---

## Chapitre II

# Conception des éléments porteurs des IGH

---

### Résumé du deuxième chapitre :

Ce chapitre est consacré à l'étude des différents éléments constitutifs de la structure d'un gratte-ciel. Il aborde en détail les composants principaux tels que les colonnes, poutres, noyaux centraux, dalles et fondations profondes. Les systèmes porteurs y sont classés selon leur nature (béton, acier ou structure mixte), avec une analyse comparative de leurs performances structurelles, de leur mise en œuvre et de leur pertinence selon les contextes architecturaux et géotechniques.

## Chapitre II

# Conception des éléments porteurs des IGH

## I. INTRODUCTION

Les systèmes porteurs d'un Immeuble de Grande Hauteur (IGH) jouent un rôle essentiel dans la stabilité et la résistance aux charges du bâtiment. Ils sont conçus pour supporter les charges verticales (poids propre, charges d'exploitation, neige, etc.) et horizontales (vent, séisme, effets dynamiques). Ces systèmes se composent de plusieurs éléments structuraux interconnectés [1].

## II. LES POTEAUX

Les poteaux jouent un rôle fondamental dans la structure des immeubles de grande hauteur. Ils sont conçus pour supporter les charges permanentes, comme le poids propre du bâtiment, ainsi que les charges d'exploitation, qui incluent les occupants, le mobilier et d'autres éléments temporaires. Ils doivent également résister aux forces horizontales dues aux vents et aux séismes [2].

### II.1. Types de poteaux

#### II.1.1. Poteaux en béton armé

Les poteaux en béton armé constituent des éléments structuraux fondamentaux dans la construction moderne, assurant la stabilité et la sécurité des bâtiments. Leur importance capitale réside dans leur capacité à remplir plusieurs fonctions essentielles tout en offrant une grande adaptabilité constructive [3].



Figure II.1 : Poteaux en béton armé [4].

### II.1.1.1. Fonctions essentielles et caractéristiques principales

Les poteaux en béton armé remplissent trois fonctions principales, chacune cruciale pour la performance globale de la structure :

#### 1. la transmission des charges verticales

- **Répartition uniforme des charges** : Ils supportent et distribuent les poids des planchers, des poutres et des autres éléments structuraux,
- **Transfert des charges vers les fondations** : Les charges sont progressivement transférées jusqu'aux fondations, assurant une répartition équilibrée,
- **Maintien de la verticalité** : Malgré les forces gravitationnelles et les contraintes mécaniques, les poteaux maintiennent leur alignement vertical [5].

#### 2. la résistance aux charges horizontales

- **Absorption des pressions du vent** : Les poteaux contribuent à stabiliser la structure face aux forces exercées par le vent,
- **Résistance aux mouvements sismiques** : Ils jouent un rôle clé dans l'amortissement des vibrations et des secousses lors de tremblements de terre,
- **Stabilisation contre les forces parasites** : Ils limitent les déformations et les déplacements indésirables de la structure [6].

#### 3. Adaptabilité dimensionnelle

- **Sections modulables** : Les poteaux peuvent avoir des sections carrées, rectangulaires circulaires, etc. et adaptées aux besoins spécifiques du projet,
- **Hauteurs variables** : Ils peuvent s'étendre de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, en fonction de la hauteur de l'immeuble,
- **Dimensions ajustables** : Leur taille et leur forme sont déterminées en fonction des charges à supporter et des contraintes architecturales [5].

### II.1.1.2. Disposition du ferrailage

Le ferrailage des poteaux en béton armé est un élément crucial pour assurer la résistance et la durabilité des immeubles de grande hauteur. Il est conçu avec précision pour optimiser ces performances.

#### 1. Armatures longitudinales

- **Diamètre minimal** : Un diamètre d'au moins 12 mm est requis pour garantir une résistance mécanique suffisante,

- **Position** : Ces armatures sont placées près des parois des poteaux pour maximiser leur efficacité. Cette disposition permet de résister efficacement aux forces de flexion et de compression qui agissent sur la structure,
- **Disposition angulaire** : Dans les sections carrées ou rectangulaires, il est obligatoire de disposer des armatures longitudinales aux angles,
- **Répartition symétrique** : La répartition symétrique des armatures longitudinales assure un équilibre structural et une répartition uniforme des charges. Cela contribue à maintenir la stabilité globale du poteau et de l'immeuble [2].

## 2. Armatures transversales

- **Diamètre** : Les armatures transversales ont un diamètre inférieur à 12 mm. Cela leur permet d'offrir une meilleure flexibilité et adaptabilité,
- **Espacement** : Les barres transversales sont disposées à intervalles réguliers pour maintenir les armatures longitudinales en position,
- **Prévention de la fissuration** : Les armatures transversales jouent un rôle important dans la prévention de la fissuration du béton. En limitant la propagation des fissures, elles améliorent la durabilité du béton et contribuent à prolonger la vie utile de la structure [2] [7].

### II.1.1.3. Calcul et dimensionnement

Le dimensionnement des structures suit une méthodologie rigoureuse pour assurer leur stabilité et sécurité. Les calculs doivent être conformes aux normes en vigueur (C.B.A. 93, Eurocode 2) pour le béton armé, et incluent une évaluation complète des charges verticales et horizontales, y compris les conditions parasismiques (RPA 2024, Eurocode 8). L'intégration des forces sismiques est cruciale pour garantir la résistance de la structure sans dommages majeurs. Le calcul du ferrailage minimal requis optimise les coûts tout en assurant la capacité de charge. Enfin, les exigences de sécurité sont vérifiées à travers des simulations et des tests pour garantir que la structure répond aux normes les plus élevées, protégeant ainsi les occupants et les biens [8].

### II.1.1.4. Assemblage avec les fondations

L'assemblage des poteaux avec les fondations est une étape cruciale dans la construction des immeubles de grande hauteur, car il garantit la transmission efficace des charges et la stabilité globale de la structure. Deux méthodes principales sont utilisées : l'encuvement et le brochage, chacune offrant des avantages spécifiques en fonction des besoins du projet [9].

## 1. Encuvement

L'encuvement est une technique privilégiée pour les poteaux porteurs principaux, car elle assure une transmission optimale des charges vers les fondations. Cette méthode repose sur deux aspects fondamentaux. D'une part, elle permet un transfert efficace des charges verticales et horizontales, garantissant que les forces exercées sur la structure soient correctement réparties et absorbées par les fondations. D'autre part, elle offre une stabilité maximale, essentielle pour les immeubles de grande hauteur soumis à des contraintes importantes, comme les forces du vent ou les séismes. En optimisant la performance structurelle, l'encuvement contribue à la durabilité et à la sécurité de l'ensemble du bâtiment [10], [11].



**Figure II.2 :** Encuvement d'un poteau [12].

## 2. Brochage

Le brochage, quant à lui, est une méthode adaptée aux poteaux intermédiaires ou secondaires. Il se distingue par sa flexibilité constructive, permettant une adaptabilité aux besoins spécifiques du projet. Cette approche facilite l'intégration des poteaux dans des structures complexes, tout en maintenant un équilibre structural optimal. Le brochage assure également une intégration harmonieuse avec la structure globale, favorisant une répartition équilibrée des charges et une meilleure coordination entre les différents éléments de construction. Cette méthode est particulièrement utile dans les projets où la modularité et la rapidité d'exécution sont des priorités [13].

### II.1.2. Poteaux en béton précontraint

Les poteaux en béton précontraint représentent une amélioration significative par rapport aux poteaux en béton armé traditionnels. Ils sont conçus pour renforcer la résistance et minimiser les déformations sous charges. Leur principal avantage réside dans l'application

d'une compression initiale grâce à des câbles ou des torons d'acier tendus avant ou après le coulage du béton, ce qui permet de mieux résister aux forces de traction et de flexion [14].



Figure II.3 : Mise en place d'un poteau en béton précontraint [4].

#### II.1.2.1. Principe du béton précontraint

Le béton est très résistant à la compression mais faible en traction. Pour compenser cette faiblesse, une précontrainte est appliquée à l'aide de câbles d'acier tendus.

##### II.1.2.1.2. Avantages des poteaux en béton précontraint

- **Réduction des dimensions** : Moins de béton et d'acier sont nécessaires pour la même capacité portante, réduisant ainsi la section du poteau et augmentant l'espace utile dans le bâtiment,
- **Meilleure résistance aux charges** : Ils supportent des charges plus élevées qu'un poteau en béton armé classique et résistent mieux aux efforts de traction et de flexion, réduisant le risque de fissuration,
- **Durabilité et maintenance réduite** : Avec moins de fissures, la protection contre la corrosion des armatures est améliorée, ce qui prolonge la longévité, notamment dans les environnements agressifs,
- **Meilleur comportement parasismique** : La précontrainte améliore la capacité du poteau à absorber les déformations dues aux séismes [14], [15].

##### II.1.2.1.3. Inconvénients des poteaux en béton précontraint

- **Coût plus élevé** : Utilisation de câbles spéciaux et mise en œuvre plus complexe nécessitant des équipements spécialisés.

- **Fabrication et installation plus complexes** : La préfabrication exige un transport et une logistique adaptés, tandis que la post-tension nécessite une mise en œuvre soignée et un contrôle rigoureux des tensions appliquées.
- **Nécessite une main-d'œuvre qualifiée** : L'installation des gaines, la mise en tension et l'ancrage des câbles demandent des compétences spécifiques [16], [14].

### II.1.2.2. Applications dans les Immeubles de Grande Hauteur (IGH)

**Colonnes principales des bâtiments à grande portée** : Les IGH nécessitent des poteaux capables de supporter des charges massives tout en minimisant leur encombrement. Le béton précontraint permet d'avoir des poteaux plus fins mais plus résistants.

**Structures en zones sismiques** : En raison de leur flexibilité et de leur capacité à absorber des efforts importants, ils sont privilégiés dans les régions à fort risque sismique.

**Poteaux préfabriqués pour la construction rapide** : Dans les projets nécessitant un délai court, on utilise souvent des poteaux précontraints préfabriqués pour accélérer le chantier [17], [18].

### II.1.2.3. Exemples d'utilisation dans les gratte-ciels :

- **Burj Khalifa (Dubai, Émirats Arabes Unis)** :
  - **Utilisation de poteaux précontraints** : Les poteaux en béton précontraint ont été utilisés pour supporter les charges verticales des étages supérieurs, permettant ainsi d'atteindre des hauteurs vertigineuses tout en garantissant une stabilité structurelle optimale [19].
- **Taipei 101 (Taïwan)** :
  - **Résistance aux séismes et au vent** : Les poteaux précontraints ont été utilisés pour améliorer la résistance aux séismes et au vent, essentielle dans une région à fort risque sismique comme Taïwan [20].
- **The Shard (Londres, Royaume-Uni)** :

**Optimisation de l'espace** : Les poteaux en béton précontraint ont permis d'optimiser l'espace intérieur tout en augmentant la capacité portante, ce qui est crucial dans un projet urbain dense comme the Shard [21].

### II.1.3. Poteaux en acier

Les poteaux en acier sont couramment utilisés dans les immeubles de grande hauteur (IGH) en raison de leur résistance mécanique élevée, de leur légèreté, de leur ténacité, de leur ductilité et de leur capacité à supporter de grandes charges tout en permettant des constructions

rapides. Leur conception doit tenir compte des charges appliquées, de la stabilité globale du bâtiment et des réglementations en vigueur [25].



**Figure II. 4 :** Poteaux en acier d'un IGH en cours de construction [26].

#### II.1.3.1. Caractéristiques des poteaux en acier

Les poteaux en acier sont des éléments verticaux destinés à transférer les charges des étages supérieurs vers les fondations. Ils doivent être conçus pour résister aux charges de compression, aux efforts de flexion (dus aux vents et séismes) et parfois aux charges de traction (dans certaines configurations de structures) .Ils sont généralement réalisés à partir de profilés laminés à chaud ou de sections soudées, et parfois remplis de béton pour améliorer leurs performances (poteaux mixtes) [27].

#### II.1.3.2. Types de poteaux en acier

##### A) Poteaux en profilés laminés à chaud :

- Utilisent des sections standardisées telles que : les HEA, HEB, IPE, etc.
- Très résistants en compression et faciles à assembler.
- Couramment utilisés pour des bâtiments de moyenne hauteur, mais parfois intégrés aux IGH [28].

##### B) Poteaux en profilés composés soudés

Les poteaux en profilés composés soudés sont des éléments de charpente métallique fabriqués en assemblant des profilés par soudure. L'objectif est de répondre à des besoins de résistance spécifiques ou de contraintes dimensionnelles, tout en permettant d'adapter la section du poteau. Ils sont utilisés pour des charges plus importantes dans les IGH [29].

### C) Poteaux mixtes (Acier-Béton)

- Un profilé en acier est rempli de béton pour combiner les avantages des deux matériaux.
- Amélioration de la résistance au feu et réduction des sections nécessaires.
- Couramment utilisés dans les IGH modernes pour optimiser les performances structurelles [30].

#### II.1.3.3. Exemples d'utilisation des poteaux en acier dans les IGH

- **Empire State Building (New York, USA) :**

Structure principale en acier, et réalisation rapide en raison de l'assemblage des éléments préfabriqués [30].

- **Burj Khalifa (Dubai, Émirats Arabes Unis) :**

Utilisation de colonnes en acier composite (acier + béton) pour optimiser la hauteur et la stabilité [32].

- **Shanghai Tower (Chine) :**

Système mixte acier-béton pour augmenter la résistance au vent et aux séismes [33].

- **The Shard (Londres, Royaume-Uni) :**

Utilisation de colonnes en acier tubulaire pour optimiser l'espace intérieur [34].

#### II.1.4. Poteaux mixtes (Acier-Béton)

Les poteaux mixtes acier-béton combinent les avantages de l'acier et du béton pour offrir une résistance optimale, une meilleure stabilité et une protection accrue contre l'incendie. Ils sont largement utilisés dans les immeubles de grande hauteur en raison de leur capacité à supporter des charges importantes tout en réduisant la section nécessaire par rapport aux poteaux en béton armé classiques [35].

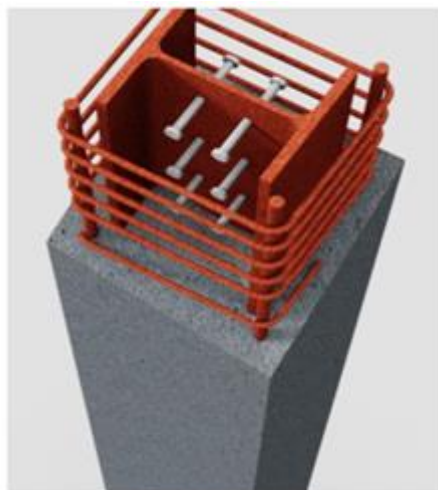


Figure II.5 : Poteau mixte Acier-Béton [36].

##### II.1.4.1. Types de poteaux mixtes

Il existe plusieurs configurations de poteaux mixtes en fonction de la disposition de l'acier et du béton :

#### A) Poteaux tubulaires remplis de béton (Concrete Filled Tubular Columns – CFT)

Ils se composent d'un profilé en acier sous forme de tube creux, pouvant être circulaire, carré ou rectangulaire, dont l'intérieur est entièrement rempli de béton armé. Cette configuration permet d'optimiser la résistance du poteau en limitant le flambement et en augmentant sa capacité portante face aux charges axiales. De plus, le béton à l'intérieur du tube offre une protection naturelle contre l'incendie, améliorant ainsi la sécurité du bâtiment. Grâce à leur facilité d'assemblage et à leur rapidité de mise en œuvre, ces poteaux sont particulièrement adaptés aux immeubles de grande hauteur (IGH) modernes où les charges sont très importantes [37].



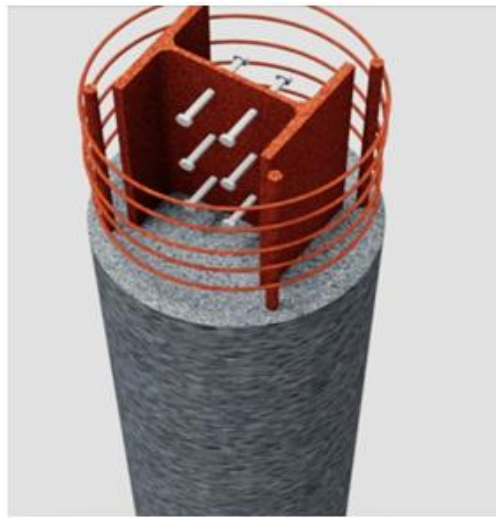
Figure II.6 : Poteaux tubulaires CFT [38].

#### C) Les poteaux en acier enrobés de béton (Encased Steel Columns – ESC)

Ils sont constitués d'un profilé en acier, généralement de type HEA, HEB ou IPE, qui est totalement entouré de béton armé. Cette enveloppe en béton joue un rôle clé dans la protection contre les incendies, permettant au poteau de conserver ses propriétés mécaniques en cas de fortes températures. En outre, cette conception améliore considérablement la rigidité structurelle du poteau et limite les déformations sous charge, ce qui le rend particulièrement stable. Ces poteaux sont fréquemment utilisés dans des bâtiments nécessitant une forte protection contre l'incendie et une grande stabilité, notamment dans les IGH situés en zones sismiques [39], [40].

#### D) Les poteaux en acier avec noyau en béton (Concrete-Encased I-Section Columns)

Ils intègrent un profilé en H ou en I partiellement inclus dans un noyau en béton, souvent renforcé par des barres d'armature longitudinales (Figure II.6). Cette disposition permet d'obtenir une excellente résistance aux efforts de flexion et de torsion, rendant ces poteaux particulièrement efficaces pour les structures soumises à des forces horizontales importantes, telles que les charges dues aux vents forts ou aux séismes. Grâce à ces caractéristiques, ils sont largement employés dans les bâtiments situés en zones à haut risque sismique ou exposés à des conditions climatiques extrêmes [41].



**Figure II.7 :** Poteau en acier avec noyau en béton [42].

#### II.1.5. Poteaux avec corbeaux

Dans les gratte-ciel, un "poteau avec corbeau" (ou "poteau à corbeaux") est un élément structurel qui supporte des planchers intermédiaires ou d'autres éléments structuraux. Les corbeaux sont des supports, généralement en béton, qui sont intégrés au poteau et qui permettent de supporter les planchers ou les poutres. Ils constituent des éléments structuraux fondamentaux dans les immeubles de grande hauteur (IGH), assurant la stabilité et la sécurité de l'ensemble de la structure. [43].



**Figure II. 8:** Poteaux en béton armé avec corbeaux [44].

### II.1.5.1 Caractéristiques et conception

- **Matériaux :** Les poteaux peuvent être en béton armé ou en acier, avec des corbeaux qui sont souvent préfabriqués ou coulés en place. Les corbeaux en béton sont renforcés avec des armatures pour résister aux contraintes de cisaillement et de flexion, tandis que ceux en acier sont généralement soudés ou boulonnés aux poteaux.
- **Charges appliquées :** Les corbeaux doivent être capables de supporter les efforts induits par les dalles et les poutres qu'ils soutiennent. Leur conception prend en compte ces charges pour assurer une répartition optimale des efforts.
- **Ancrage et fixation :** Un bon dimensionnement des liaisons entre le corbeau et le poteau est essentiel pour éviter des concentrations de contraintes excessives et assurer une stabilité structurelle [43], [45].

### II.1.5.2. Utilisation des poteaux avec corbeaux dans les IGH

Ces poteaux sont couramment utilisés dans plusieurs situations :

- **Transition de charges entre étages :** Ils permettent de reporter les charges d'un niveau à l'autre sans nécessiter de poteaux supplémentaires.
- **Création de structures en porte-à-faux :** En intégrant des corbeaux, il est possible de réaliser des dalles ou des balcons en saillie sans appui direct, offrant ainsi une plus grande liberté architecturale.
- **Réduction du besoin en poutres principales :** En soutenant directement les dalles et les poutres secondaires, les corbeaux limitent la nécessité d'utiliser des poutres principales de grande portée, réduisant ainsi le poids total de la structure et optimisant l'espace intérieur [45], [46].

### III. LES POUTRES

Les poutres sont des éléments structuraux horizontaux et elles jouent un rôle crucial en transmettant les charges verticales et horizontales vers les poteaux et les noyaux centraux, garantissant ainsi la stabilité et la résistance des IGH [47].

#### III.1. Types de poutres

##### III.1.1. Poutres en acier

Les poutres en acier incluent les profilés laminés comme les HEA, HEB, HEM, IPE, et UPE. Chaque type a des caractéristiques bien spécifiques :

- **HEA, HEB, HEM** : Ces poutres en H sont idéales pour les structures nécessitant une grande résistance. Les HEM sont les plus résistantes et sont souvent utilisées dans les ouvrages de grande envergure comme les ponts et les immeubles de grande hauteur [48], [49].
- **IPE et UPE** : Ces poutres en I sont légères et polyvalentes, utilisées pour des structures où la résistance à la flexion est primordiale [50].

##### III.1.1.1. Types de poutres en acier utilisées dans les IGH

###### A) Poutres en acier standard (profilés en I ou H)

Les poutres en acier standard, telles que les profilés en I ou H, sont utilisées dans la structure primaire des planchers et les ossatures principales des immeubles de grande hauteur (IGH). Elles se distinguent par leur excellente résistance à la flexion et à la traction, ce qui les rend idéales pour supporter les charges importantes. Des exemples courants incluent les profilés IPE 300 et HEB 400, qui sont souvent employés pour leur robustesse et leur capacité à résister aux sollicitations structurelles [51], [52].

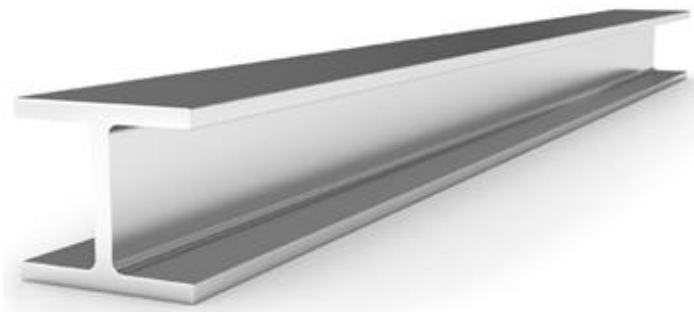


Figure II. 9 : Poutre métallique en H [53].

###### B) Poutres en treillis

Les poutres en treillis sont utilisées pour les grandes portées où il est nécessaire de réduire le poids de la structure. Elles se caractérisent par un assemblage de barres en acier formant des

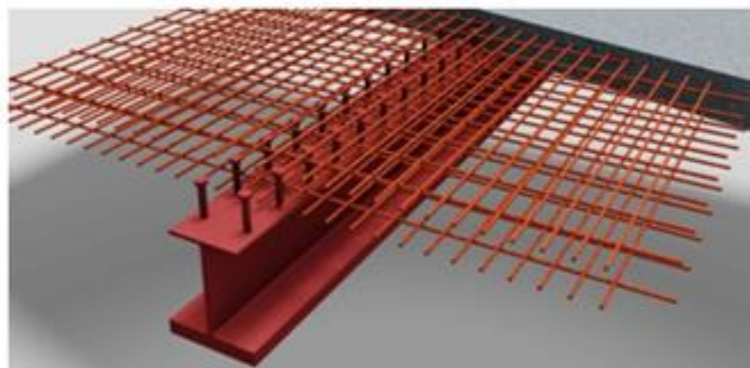
triangles, ce qui optimise leur résistance tout en minimisant la quantité de matériaux utilisés. Un avantage majeur de ces poutres est qu'elles offrent une rigidité équivalente à celle des poutres massives tout en utilisant moins de matériaux, ce qui les rend particulièrement efficaces pour les applications nécessitant une grande portée avec une structure légère [54], [55].



**Figure II. 10 :** Poutre en treillis [56].

### C) Poutres mixtes (acier-béton)

Les poutres mixtes acier-béton sont utilisées pour améliorer la résistance au feu et réduire les déformations sous charge. Elles combinent les avantages de l'acier et du béton en intégrant une âme en acier remplie ou enrobée de béton, ce qui permet de profiter à la fois de la résistance mécanique de l'acier et de la protection thermique du béton. Un avantage majeur de ces poutres est qu'elles offrent une meilleure capacité de charge tout en assurant une isolation thermique améliorée, ce qui les rend idéales pour des applications où la sécurité incendie et la performance structurelle sont cruciales [57], [58].



**Figure II.11 :** Poutre mixte acier-béton[59].

### D) Poutres de ceinture

Les poutres de ceinture, ou beltbeams, sont utilisées pour stabiliser les immeubles de grande hauteur (IGH) en répartissant les efforts horizontaux tels que le vent et le séisme. Elles sont reliées aux noyaux centraux et aux poteaux périphériques pour renforcer la rigidité latérale du bâtiment. Un exemple typique de leur utilisation se trouve dans les gratte-ciel dotés d'un exosquelette structurel, où ces poutres jouent un rôle crucial en augmentant la résistance globale de la structure face aux forces externes [60], [61].

### III.1.2. Poutres en béton armé

Les poutres en béton armé sont des éléments structuraux horizontaux essentiels dans la construction moderne. Elles combinent le béton, qui résiste bien à la compression, avec des armatures en acier, qui offrent une haute résistance à la traction. Ce matériau composite permet de créer des structures très résistantes, capables de supporter à la fois les efforts de traction et de compression [62].

#### III.1.2.1. Caractéristiques des poutres en béton armé

Les poutres en béton armé sont constituées d'un mélange de béton et d'acier. Elles combinent la résistance à la compression du béton avec la résistance à la traction de l'acier [62].

##### III.1.2.1. Types de poutres en béton armé utilisées dans les IGH

###### A) Poutres pleines en béton armé :

Les poutres pleines en béton armé sont couramment employées dans les structures traditionnelles des immeubles de grande hauteur (IGH). Elles présentent généralement une section rectangulaire ou en T, renforcée par des armatures longitudinales et transversales. Ces poutres offrent une résistance élevée aux charges verticales et peuvent s'intégrer parfaitement dans des structures en béton, ce qui les rend idéales pour des applications telles que les noyaux centraux et les ossatures principales des gratte-ciels [63].

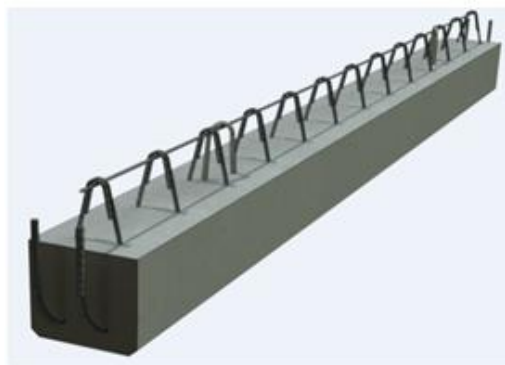


Figure II.12 : Poutre rectangulaire en béton armé [64].

###### B) Poutres en béton armé à hauteur variable

Les poutres à section variable sont utilisées dans les structures nécessitant une adaptation aux charges variables. Elles se caractérisent par une hauteur de section qui varie en fonction des efforts subis, permettant ainsi d'optimiser le poids et les matériaux utilisés. Cela en fait une solution efficace pour les zones où les charges diffèrent, telles que les halls d'entrée ou les auditoriums des immeubles de grande hauteur (IGH), où les besoins structurels peuvent fluctuer considérablement [65].



Figure II.13 : Poutres à hauteur variable [66].

### C) Poutres en béton armé avec consoles (corbeaux)

Les poutres avec corbeaux intégrés sont conçues pour supporter des éléments en porte-à-faux grâce à ces saillies intégrées. Elles sont couramment utilisées pour les balcons, les extensions en porte-à-faux et certaines structures complexes des immeubles de grande hauteur (IGH). Ces poutres offrent plusieurs avantages, notamment la possibilité de créer des avancées sans poteaux intermédiaires, ce qui améliore la flexibilité architecturale des bâtiments. Cependant, elles nécessitent une étude approfondie pour éviter des efforts excessifs au niveau des points d'appui et présentent un risque de concentration des contraintes si elles sont mal dimensionnées [67].



**Figure II.14 :** Poutre en console en béton armé [68].

### E) Poutres-caisson en béton armé

Les structures creuses, souvent préfabriquées, sont conçues pour optimiser le poids et la rigidité. Elles sont principalement utilisées dans les grandes portées des bâtiments à grande hauteur (IGH), notamment dans les planchers supportant de fortes charges. Ces structures offrent plusieurs avantages, notamment un poids réduit par rapport aux poutres pleines tout en conservant une bonne rigidité, ainsi que la possibilité d'intégrer des conduits techniques à l'intérieur du caisson. Cependant, elles présentent également des inconvénients, tels qu'une fabrication plus complexe nécessitant des coffrages spécifiques et une difficulté d'adaptation aux modifications tardives de conception [70], [71].



**Figure II. 15 :** Poutres-caisson [72].

### III.1.3. Poutres en béton précontraint

Les poutres précontraintes sont utilisées pour réduire la flèche et augmenter la capacité portante des structures. Elles se caractérisent par des armatures tendues avant le coulage du béton, ce qui améliore leur résistance en traction. Grâce à cette technique, il est possible de franchir de plus grandes portées avec moins de matériaux, ce qui en fait une solution idéale

pour les planchers et les ponts suspendus dans les immeubles de grande hauteur (IGH) [73], [74].



Figure II.16 : Poutres précontrainte [75].

#### III.1.3.1. Avantages des poutres en béton précontraint dans les IGH

Les poutres en béton précontraint sont privilégiées dans les IGH en raison de plusieurs atouts :

- **Grande portée** : permet de réduire le nombre de poteaux, libérant ainsi de l'espace intérieur,
- **Réduction de la flèche** : moins de déformation sous charge, garantissant un meilleur confort structurel,
- **Meilleure capacité portante** : peut supporter des charges plus importantes que les poutres en béton armé classique,
- **Optimisation des matériaux** : moins de béton et d'acier utilisés, réduisant ainsi le poids total de la structure,
- **Durabilité accrue** : résistance aux fissures et meilleure tenue dans le temps, réduisant ainsi les coûts d'entretien [76].

#### III.1.3.2. Utilisations des poutres en béton précontraint dans les IGH

Les poutres précontraintes sont largement utilisées dans plusieurs parties des IGH, particulièrement pour la réalisation des :

- **Planchers à grandes portées** : idéal pour des espaces ouverts sans poteaux intermédiaires (bureaux, halls, parkings),
- **Structures de transfert** : permettent de répartir les charges entre différentes zones structurelles,
- **Poutres en façade** : réduction des dimensions des poutres tout en garantissant une forte résistance,
- **Passerelles et dalles suspendues** : apporte rigidité et résistance à ces éléments suspendus dans les IGH [77], [78].

## IV. LES PLANCHERS

Les planchers sont des éléments structuraux horizontaux qui assurent le transfert des charges vers les éléments porteurs verticaux (poteaux, noyau central, murs porteurs). Ils servent de support aux niveaux du bâtiment et jouent un rôle clé dans la stabilité et le confort des occupants [79].

### IV.1. Types de planchers utilisés dans les IGH

#### IV.1.1. Caractéristiques générales

Les planchers des IGH sont conçus en tenant compte des paramètres suivants :

- **Haute résistance mécanique** : capacité à supporter les charges d'exploitation (mobilier, occupants) et les charges permanentes,
- **Rigidité élevée** : fonctionnent comme des diaphragmes rigides pour stabiliser l'IGH et limiter les déformations,
- **Légèreté** : un poids réduit permet de diminuer les charges sur les fondations et les poteaux,
- **Isolation thermique et acoustique** : essentielle pour le confort des occupants,
- **Bonne résistance au feu** : matériaux et conceptions assurant une protection en cas d'incendie,
- **Intégration des réseaux techniques** : circulation des gaines électriques, de ventilation et de plomberie,
- **Durabilité et entretien** : matériaux résistants aux contraintes climatiques et à l'usure [80], [81].

**Types :**

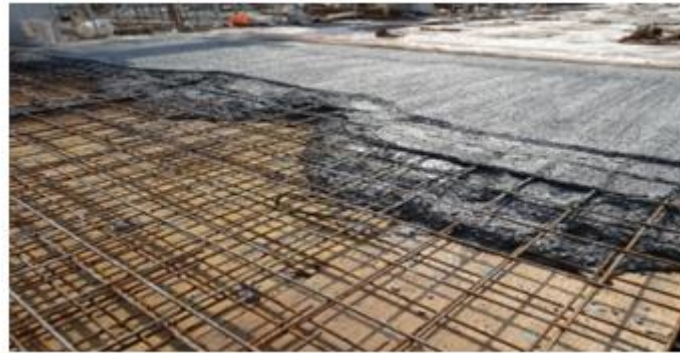
#### IV.1.2. Planchers en béton

Le béton est couramment utilisé dans la construction des IGH en raison de ses excellentes performances mécaniques, sa durabilité et sa résistance aux incendies. Plusieurs types de planchers en béton sont employés selon les besoins du projet [80].

##### IV.1.2.1. Planchers en dalles pleines

Les planchers dalles pleines sont coulés en place avec une épaisseur généralement comprise entre 15 et 30 cm. Ils sont constitués de béton armé avec un ferrailage dense pour renforcer leur résistance aux charges. Ces dalles offrent plusieurs avantages, notamment une grande rigidité, ce qui les rend adaptées aux charges lourdes, ainsi qu'une bonne isolation acoustique et thermique, et une bonne résistance au feu. Cependant, elles présentent un poids mort élevé nécessitant une structure porteuse plus robuste, ce qui les rend moins économiques

en termes de consommation de matériaux. Elles sont principalement utilisées lorsque la rigidité et la résistance sont des critères essentiels, notamment dans les zones sismiques [81], [82].



**Figure II.17 :** Plancher en dalle pleine [83].

#### IV.1.2.2. Planchers en dalles alvéolées

Ces dalles préfabriquées en béton précontraint comportent des cavités longitudinales qui réduisent leur poids. Elles permettent de couvrir de grandes portées, jusqu'à 18 mètres, tout en ayant une épaisseur réduite. Ces dalles offrent plusieurs avantages : elles sont plus légères que les dalles pleines, ce qui réduit le poids total du bâtiment ; leur installation est rapide grâce à la préfabrication ; elles permettent de grandes portées, limitant ainsi le nombre de poteaux et offrant une flexibilité architecturale. Cependant, elles présentent quelques inconvénients : elles sont moins isolantes acoustiquement que les dalles pleines et nécessitent des réservations spécifiques pour l'intégration des réseaux techniques. Elles sont idéales pour les immeubles de grande hauteur modernes, où la rapidité de construction et l'optimisation des charges sont primordiales [84], [85].



**Figure II.18 :** Dalle alvéolée en béton précontraint [84].

#### IV.1.2.3. Planchers champignons

Les dalles qui reposent directement sur les poteaux sans intermédiaire de poutres comportent une zone épaissie autour des poteaux, appelée "champignon", qui absorbe les charges ponctuelles. Ces dalles offrent plusieurs avantages : elles permettent de réduire la hauteur d'étage, ce qui autorise l'ajout de plus de niveaux dans un immeuble de grande hauteur ; elles améliorent l'espace intérieur en supprimant les poutres apparentes, offrant ainsi des plafonds plus lisses ; et elles assurent une bonne répartition des charges, réduisant les concentrations d'efforts aux appuis. Cependant, elles présentent quelques inconvénients : elles sont moins adaptées aux grandes portées sans augmentation d'épaisseur ; et un renforcement localisé est nécessaire autour des poteaux pour éviter le poinçonnement. Elles sont couramment utilisées dans les gratte-ciels de bureaux et résidentiels, où l'optimisation de l'espace est essentielle [81], [86].



Figure II. 19 : Plancher champignon [87].

#### IV.1.3. Planchers mixtes béton-acier

Les dalles mixtes béton-acier combinent une dalle en béton armé avec un support métallique, tel qu'un bac acier collaborant. Ce système permet d'exploiter les avantages des deux matériaux : la résistance et la rigidité du béton, ainsi que la légèreté et la rapidité de mise en œuvre de l'acier. Les avantages incluent un poids réduit, limitant ainsi les charges sur la structure porteuse, une mise en œuvre rapide car l'acier sert de coffrage perdu, et une flexibilité architecturale avec des portées plus longues. Cependant, ces dalles présentent quelques inconvénients : elles sont sensibles au feu, nécessitant un traitement de protection pour éviter la dilatation thermique de l'acier, et elles sont moins performantes en isolation acoustique, nécessitant des solutions complémentaires. Elles sont très répandues dans les immeubles de grande hauteur modernes, notamment pour les bâtiments de bureaux et commerciaux, où la rapidité de construction est un facteur clé [88], [89].

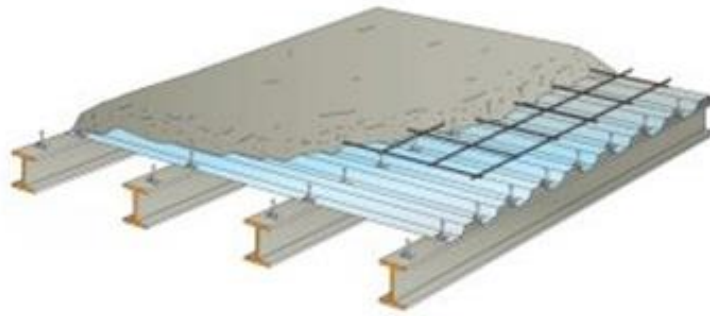


Figure II.20 : Plancher dalle mixte [90].

#### IV.1.3.1. Planchers métalliques

Les planchers métalliques sont une alternative aux planchers en béton, offrant des avantages en termes de légèreté, rapidité de mise en œuvre et flexibilité architecturale. Ils sont particulièrement prisés dans les IGH modernes, où la réduction du poids total du bâtiment et l'optimisation des délais de construction sont des priorités [81].

#### IV.1.3.2. Planchers collaborant

Les planchers collaborant sont constitués de feuilles d'acier nervurées, sur lesquelles une dalle de béton est coulée. L'acier agit comme un coffrage perdu, servant à la fois de support et d'armature partielle pour le béton [91].

##### IV.1.3.2.1. Caractéristiques et fonctionnement

- Les profils nervurés en acier galvanisé augmentent la rigidité et réduisent le poids du plancher.
- Le béton coulé sur le bac acier assure la résistance à la compression.
- Une liaison mécanique entre l'acier et le béton est assurée par des gaufrages ou des connecteurs soudés, permettant une collaboration entre les deux matériaux [91].

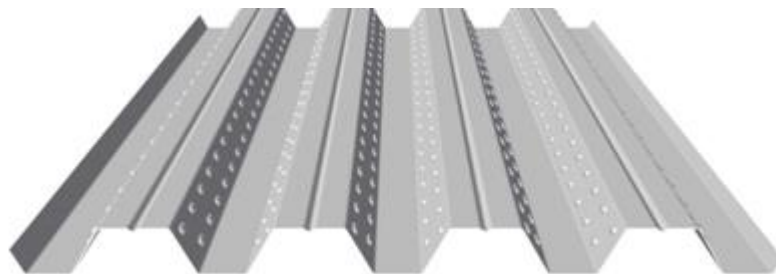


Figure II.21 : Plancher collaborant [92].

##### IV.1.3.2.2. Utilisation

Les planchers collaborant sont largement utilisés dans les IGH à structure mixte ou entièrement métallique, notamment pour les bureaux, centres commerciaux et infrastructures industrielles [91].

#### IV.1.3.3. Planchers mixtes avec poutrelles en acier

Ce type de plancher combine des poutres métalliques avec une dalle de béton coulée sur un bac acier collaborant. Il exploite les avantages des deux matériaux :

- **L'acier** apporte légèreté et rapidité de montage,
- **Le béton** assure la résistance à la compression et la rigidité du plancher[93].

##### IV.1.3.3.1. Caractéristiques et fonctionnement

- **Poutrelles en acier** (IPN, IPE, HEA, HEB, etc.) servant d'ossature porteuse.
- **Bac acier collaborant** jouant le rôle de coffrage et d'armature partielle.
- **Dalle de béton armé** coulée sur le bac acier, assurant la résistance et la stabilité du plancher.
- **Connecteurs métalliques** (goujons d'ancrage) reliant la dalle aux poutres pour garantir la collaboration des matériaux [94].

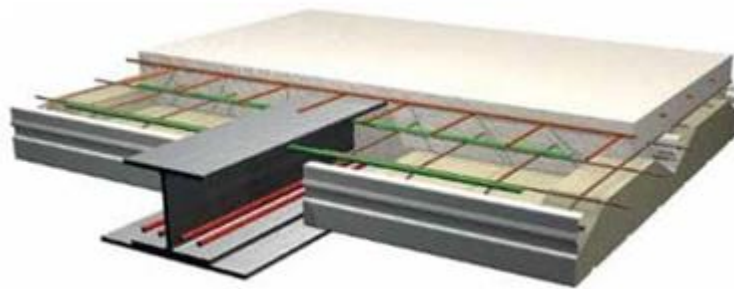


Figure II.22 : Plancher mixte avec poutrelle en acier [95].

##### IV.1.3.3.2. Utilisation

Les planchers mixtes avec poutrelles acier sont utilisés dans les IGH nécessitant de grandes portées, tels que les tours de bureaux, les hôtels et les infrastructures commerciales, où la modularité et l'optimisation de l'espace sont essentielles [96].

## V. LES NOYAUX CENTRAUX

Le noyau central est un élément fondamental dans la conception des Immeubles de grande hauteur. Servant d'épine dorsale au bâtiment, il assure sa stabilité et résiste aux forces naturelles telles que le vent et les tremblements de terre. Généralement constitué de béton armé ou d'acier,

le noyau central abrite les ascenseurs, les escaliers et les systèmes de services essentiels comme l'eau et l'électricité. Sa conception est cruciale, prenant en compte les contraintes spécifiques du site et les besoins fonctionnels du bâtiment.

Par exemple, la Burj Khalifa à Dubaï possède un noyau central unique qui contribue à sa capacité à résister aux vents violents [97], [98].

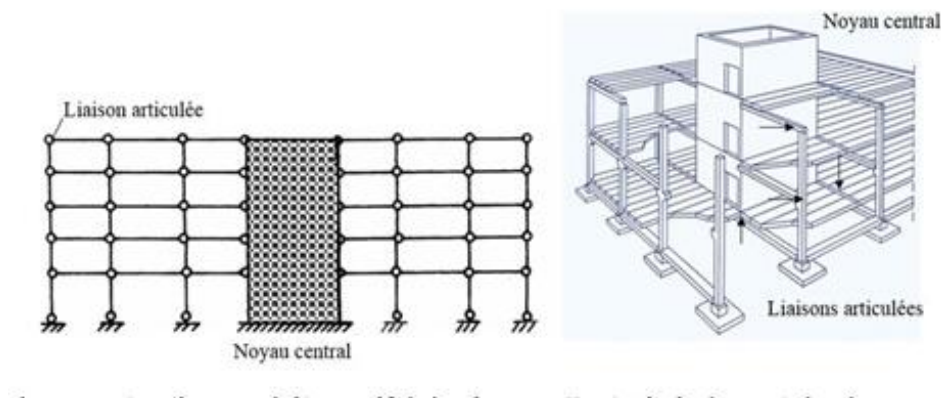


Figure II.23 : Représentation schématique d'un noyau central [99].

### V.1. Rôle du noyau central

Le noyau central est la base de toute structure, en effet, la stabilité horizontale d'un bâtiment et la reprise des charges horizontales provenant du vent ou du séisme est assurée par une série de dalles qui sont quasiment indéformables dans leur propre plan. Ces dalles travaillent dans le sens horizontal et transmettent ainsi ces charges horizontales aux noyaux centraux et aux murs de refends.

1. **Stabilité structurelle** : le noyau central assure la rigidité du bâtiment, permettant de maintenir l'équilibre et de résister aux déformations,
2. **Circulations verticales** : il abrite les ascenseurs, escaliers et autres circulations verticales, facilitant le déplacement des occupants,
3. **Réseaux techniques** : le noyau central intègre également les conduites de fluides et d'autres systèmes techniques nécessaires au fonctionnement du bâtiment [98], [100].

### V.2. Types de noyaux centraux

Selon la hauteur du bâtiment, les charges appliquées et les contraintes sismiques et environnementales, différents types de noyaux peuvent être utilisés.

#### 1. Noyau en béton armé

Les noyaux centraux en béton armé sont les plus couramment utilisés dans les IGH en raison de leur excellente rigidité structurelle et de leur bonne résistance aux charges latérales, telles que le vent et les séismes. Ils sont composés de murs épais en béton armé qui forment généralement une structure monolithique [101].



Figure II.24 : Réalisation d'un noyau en béton armé [102].

### 1.1. Caractéristiques générales

- **Composition** : les noyaux sont composés de murs épais en béton armé qui forment une structure monolithique rigide,
- **Formes** : ils peuvent prendre différentes formes, telles que rectangulaire, circulaire, en T ou en croix, selon les besoins architecturaux et structurels du bâtiment.
- **Utilisation** : Ils sont utilisés dans les gratte-ciels de hauteur modérée à élever, allant de 50 à 300 mètres,
- **Efficacité** : Très efficaces pour absorber les forces sismiques et éoliennes [98], [101].

### 1.2. Avantages des noyaux centraux en béton armé

- **Rigidité et stabilité** : Offrent une grande rigidité et stabilité face aux forces horizontales,
- **Résistance au feu** : bonne résistance au feu sans protection supplémentaire,
- **Réduction des Oscillations** : réduisent les oscillations sous l'effet du vent.
- **Intégration des ascenseurs et escaliers** : permettent une intégration facile des ascenseurs et escaliers [103], [104].

### 1.3. Inconvénients

- **Poids propre élevé** : augmentent la charge sur les fondations.

- **Construction** plus lente : nécessitent du coffrage et un temps de séchage plus long [104].

#### Exemples d'utilisation dans les IGH :

- Burj Khalifa (Dubai, 828 m),
- Taipei 101 (Taïwan, 508 m),
- Tour Shanghai (Chine, 632 m) [105], [106], [107].



Figure II.25 : La tour du Burj khalifa [108]

## 2. Noyau en acier

Les noyaux en acier dans les immeubles de grande hauteur (IGH) sont une alternative aux noyaux en béton armé, offrant certains avantages en termes de poids et de flexibilité. Voici quelques points clés à propos des noyaux en acier [109].



Figure II.26 : Noyau central en acier [110].

## 2.1. Caractéristiques

- **Composition** : Les noyaux en acier peuvent être constitués de poutres treillis ou de cadres rigides à étages multiples. Ils sont moins rigides que les noyaux en béton armé mais présentent l'avantage de supprimer les inconvénients liés au vieillissement différentiel de l'acier et du béton
- **Formes et conception** : Les noyaux en acier peuvent être conçus pour s'intégrer à des structures extérieures métalliques, comme des portiques en X, pour améliorer la rigidité globale du bâtiment [111].

## 2.2. Avantages

- **Poids réduit** : les noyaux en acier sont généralement plus légers que leurs équivalents en béton armé, ce qui réduit la charge sur les fondations et permet une construction plus légère,
- **Flexibilité architecturale** : ils offrent une plus grande flexibilité architecturale, permettant des formes et des conceptions innovantes qui ne seraient pas possibles avec des noyaux en béton,
- **Rapidité de construction** : les structures en acier peuvent être montées plus rapidement que le béton, ce qui accélère le processus de construction [112], [113].

## 2.3. Inconvénients

- **Sensibilité au feu** : les structures en acier sont sensibles au feu en raison de leur conductivité thermique élevée, ce qui nécessite des protections supplémentaires pour éviter la dilatation thermique et maintenir leur intégrité structurelle en cas d'incendie,
- **Complexité des assemblages** : les assemblages métalliques, tels que les nœuds, peuvent être gênants, notamment au niveau des planchers, en raison des goussets ou des équerres nécessaires, ce qui peut compliquer l'intégration des réseaux techniques,
- **Coût de protection** : la protection contre le feu des éléments en acier peut être coûteuse et nécessiter un entretien périodique, ce qui ajoute des coûts supplémentaires à la construction et à la maintenance [114], [115], [116].

## 2.4. Exemples d'Utilisation des noyaux en acier

- **John Hancock Center (Chicago, USA)** : ce bâtiment utilise un noyau central en acier avec une structure extérieure métallique pour réduire le poids et améliorer la rigidité, [117].



**Figure II.27 :** John Hancock center(Chicago, USA) [118].

### 3. Noyau mixte (Béton + Acier)

Les noyaux mixtes combinent le béton armé et l'acier pour tirer parti des avantages de chaque matériau. Le béton offre une bonne résistance à la compression et une résistance au feu, tandis que l'acier offre une résistance à la traction et permet une construction plus rapide. La conception de noyaux mixtes est parfois envisagée [119].

#### 3.1. Caractéristiques

- Composition : murs en béton armé et éléments en acier,
- Fonction : agit comme une structure verticale rigide conçue pour reprendre les charges horizontales,
- Formes : Peut prendre différentes [120], [103].

#### 3.2. Exemples d'utilisation de noyau mixte

- La Tour Shanghai (632 m, Chine) : noyau en béton renforcé par des poutres en acier.
- Le One World Trade Center (541 m, New York) : noyau en béton armé avec structure en acier pour plus de légèreté [120], [121].

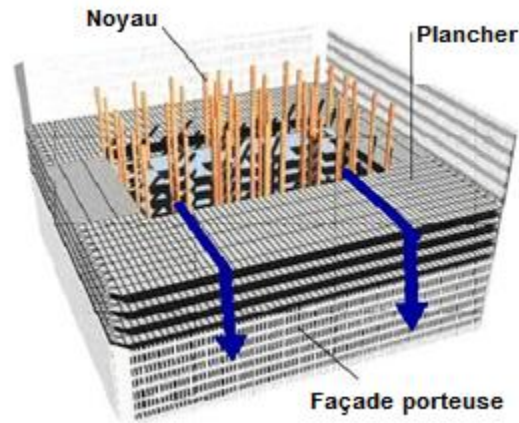


Figure II.28 : Noyau central du One world trade center [122].

En résumé, le noyau central est au cœur de la conception des IGH, garantissant leur sécurité, leur durabilité et leur efficacité.

## VI. LES FONDATIONS

Les fondations sont des éléments structuraux essentiels qui assurent la stabilité, la sécurité et la durabilité du bâtiment. Elles doivent supporter des charges colossales (poids propre du bâtiment, charges d'exploitation, forces latérales dues au vent ou aux séismes) et les transférer de manière sûre et efficace au sol [123].

### VI.1. Rôle des fondations

Les fondations ont plusieurs rôles clés :

- **Transmettre les charges** : elles transfèrent les charges verticales (poids du bâtiment) et horizontales (vent, séismes) au sol.
- **Assurer la stabilité** : elles empêchent le tassement excessif ou le basculement du bâtiment.
- **Résister aux forces latérales** : elles ancrent le bâtiment pour résister aux forces horizontales [124].

### VI.2. Les Fondations profondes

Les fondations profondes sont utilisées pour les immeubles de grande hauteur très hauts ou lorsque le sol superficiel est faible et incapable de supporter les charges du bâtiment. Elles permettent de transférer les charges vers des couches de sol plus profondes et plus résistantes, assurant ainsi la stabilité et la sécurité de la structure [123].

## VI.2.1. Types de fondations profondes

### 1. Les pieux

Les pieux sont des éléments structuraux longs et minces qui sont enfoncés dans le sol pour atteindre des couches plus résistantes. Ils servent à transférer les charges du bâtiment vers des couches profondes du sol, offrant ainsi une stabilité accrue et une capacité portante élevée. Les pieux sont couramment utilisés dans les immeubles de grande hauteur ou lorsque le sol superficiel est trop faible pour supporter les charges [123].

#### 1.1. Types de pieux

- **Pieux forés** : creusés à l'aide d'une foreuse, puis remplis de béton armé. Ils sont adaptés aux sols difficiles ou urbains où les vibrations doivent être minimisées,
- **Pieux battus** : enfoncés dans le sol par battage (à l'aide d'un marteau hydraulique). Ils sont utilisés dans des sols moins complexes et où les vibrations ne posent pas de problème [123].

#### 1.2. Utilisation

Les pieux sont principalement utilisés dans les cas suivants :

- **IGH très hauts** : pour transférer les charges vers des couches profondes et résistantes du sol,
- **Sols de faible capacité portante en surface** : lorsque le sol superficiel est trop meuble ou compressible,
- **Zones à risque sismique** : pour ancrer solidement le bâtiment et résister aux forces latérales.
- **Projets urbains** : Lorsque les vibrations doivent être minimisées (pieux forés) [125] [126].

#### 1.3. Mode de réalisation des fondations profondes

- **Forage** : creuser des trous pour les pieux ou les barrettes,
- **Installation des armatures** : placer les cages d'armatures en acier,
- **Coulage du béton** : remplir les trous avec du béton armé,
- **Contrôle de qualité** : vérification de la profondeur, de l'alignement et de la résistance [126].

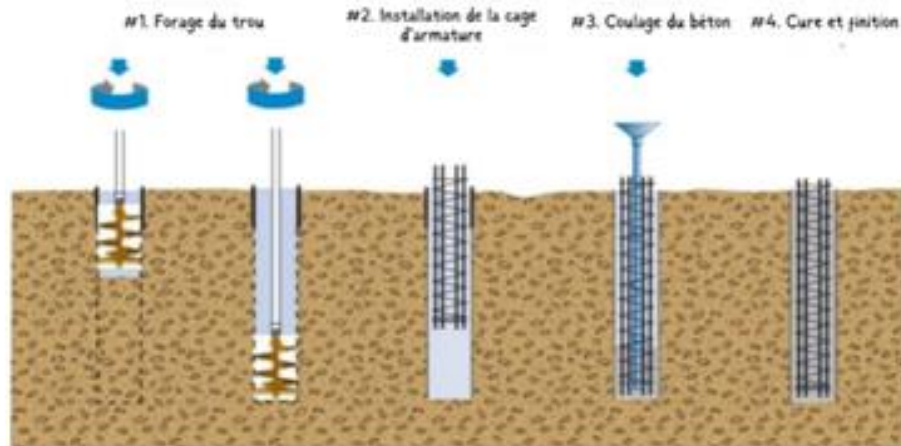


Figure II.29 : Méthode de réalisation des fondations profondes [127].

### Exemples de fondations d'immeubles de grande hauteur :

#### Burj Khalifa (Dubai) :

- **Type de pieux** : pieux forés.
- **Détails** : 192 pieux en béton armé, de 1,5 mètre de diamètre et jusqu'à 50 mètres de profondeur.
- **Charge à transmettre** : 500.000 tonnes [128].



Figure II. 30 : Fondations du Burj Khalifa [129].

#### Shanghai Tower (Chine) :

- **Type de pieux** : pieux forés.
- **Détails** : 980 pieux de 1 mètre de diamètre et 86 mètres de profondeur [130].



**Figure II.31 :** Les fondations du Shanghai Tower (Chine) [131].

## 2. Barrettes

Les barrettes sont des éléments rectangulaires en béton armé, similaires à des pieux mais de forme allongée. Elles offrent une plus grande surface de contact avec le sol par rapport aux pieux cylindriques, ce qui permet une meilleure répartition des charges et une capacité portante accrue. Les barrettes sont souvent utilisées dans des projets où les charges sont très importantes ou où le sol est hétérogène [132].



**Figure II.32 :** Barrettes en béton armé [133].

### 2.1. Utilisation

Les barrettes sont principalement utilisées dans les cas suivants :

- IGH nécessitant une grande capacité portante : Pour supporter des charges extrêmement élevées,
- Sols hétérogènes : lorsque le sol présente des variations de résistance ou des couches instables,

- Projets complexes : pour des structures imposantes ou des conditions géotechniques difficiles,
- Zones urbaines : lorsque l'espace est limité et que des fondations profondes et efficaces sont nécessaires [134], [135], [136].

## 2.2. Avantages des barrettes

- **Grande capacité portante :**

Leur forme allongée et leur surface de contact accrue permettent de supporter des charges très importantes.

- **Adaptabilité aux sols hétérogènes :**

Elles sont idéales pour les sols avec des variations de résistance ou des couches instables.

- **Efficacité dans les espaces restreints :**

Leur forme rectangulaire permet une installation dans des zones où l'espace est limité.

- **Résistance aux forces latérales :**

Elles offrent une excellente stabilité contre les forces horizontales (vent, séismes) [137], [138].

## 2.3. Exemple d'utilisation de barrettes dans les IGH

### Tours jumelles Patronnas (Malaisie) :

- **Type de fondation :** barrettes en béton armé.
- **Détails :** les tours utilisent des barrettes profondes pour atteindre des couches de sol résistantes et supporter leur poids colossal.
- **Rôle :** assurer la stabilité des tours jumelles, qui étaient les plus hautes du monde lors de leur construction [139].



Figure II. 33 : Fondation des tours jumelles patronna (Malaisie) [140], [141].

## 3. Les caissons

Les caissons sont des structures creuses en béton ou en acier qui sont enfoncées dans le sol et ensuite remplies de béton. Ils sont conçus pour atteindre des couches profondes et résistantes du sol, offrant ainsi une fondation solide et stable. Les caissons sont souvent utilisés dans des conditions géotechniques complexes, comme la présence d'eau ou des sols instables [142], [143].



Figure II.34 : Caisson de fondation [144].

### 3.1. Utilisation

Les caissons sont principalement utilisés dans les cas suivants :

- **IGH situés dans des zones avec des sols très faibles** : pour atteindre des couches de sol plus résistantes en profondeur,
- **Conditions géotechniques complexes** : comme les sols instables, les zones inondables ou les terrains avec des couches hétérogènes,
- **Projets nécessitant une grande profondeur de fondation** : pour des bâtiments très hauts ou des structures imposantes,
- **Zones urbaines** : lorsque les vibrations doivent être minimisées et que l'espace est limité [142], [145].

### 3.2. Avantages des caissons :

- **Grande capacité portante**

Les caissons peuvent supporter des charges extrêmement élevées grâce à leur profondeur et à leur remplissage en béton.

- **Adaptabilité aux conditions difficiles :**

Ils sont idéaux pour les sols instables, les zones inondables ou les terrains avec des couches hétérogènes.

- **Résistance aux forces latérales :**

Ils offrent une excellente stabilité contre les forces horizontales (vent, séismes).

- **Minimisation des vibrations :**

Leur installation génère moins de vibrations que les pieux battus, ce qui les rend adaptés aux zones urbaines [\[143\]](#).

## ***V. CONCLUSION***

La stabilité des immeubles de grande hauteur repose sur des éléments porteurs soigneusement conçus : poteaux, poutres, planchers, noyaux centraux et fondations. Chaque composant joue un rôle spécifique dans la transmission des charges et la résistance aux contraintes. L'usage combiné du béton armé, de l'acier ou de solutions mixtes permet d'optimiser performance et sécurité. La conception de ces éléments nécessite rigueur, calculs précis et conformité aux normes. Ces bases structurelles sont indispensables pour garantir la durabilité des IGH.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/systemes>
- [2] <https://www.infociments.fr/betons/notions-de-dimensionnement-du-beton-arme-les-poteaux>
- [3] <https://www.abc-maonnerie.com/technique/conseil/elevations-des-murs/poteaux-en-beton-arme.html>
- [4] <https://www.ebawe.de/fr/applications/elements-pour-les-constructions/poteaux-et-poutres>
- [5] <https://www.abc-maonnerie.com/technique/conseil/elevations-des-murs/poteaux-en-beton-arme.html>
- [6] <https://biblus.accasoftware.com/fr/renforcement-des-poteaux-en-beton-arme/>
- [7] <https://www.infociments.fr/betons/notions-de-dimensionnement-du-beton-arme-dispositions-constructives-pour-les-armatures>
- [8] <https://www.infociments.fr/sites/default/files/article/fichier/CT-G12.32-85.pdf>
- [9] [https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/10531/1/HANNACHI\\_Abdellatif.pdf](https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/10531/1/HANNACHI_Abdellatif.pdf)
- [10] <https://febe.be/wp-content/uploads/2024/02/Lecon-3-stabilite-horizontale.pdf>
- [11] <https://www.eurobeton.fr/nos-produits-beton/la-structure-beton/les-poteaux-beton/#:~:text=Le%20poteau%20en%20b%C3%A9ton%20%C2%0A%20garantie%20d'une%20ossature%20robuste&text=Encastr%C3%A9%20dans%20des%20fondations%20par,maintient%20les%20panneaux%20architectoniques%20lat%C3%A9raux.>
- [12] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.maxfrank.com%2Ffr-fr%2Fproducts%2Fformwork-technologies%2F11-Box-out-shutters-recess->
- [13] <https://www.eurobeton.fr/nos-produits-beton/la-structure-beton/les-poteaux-beton/>
- [14] <https://www.cawandpartners.com/beton-precontraint-caracteristiques-et-avantages>
- [15] <https://www.prensoland.com/fr/les-principaux-avantages-du-beton-precontraint-en-construction/>
- [16] <https://soumissionrenovation.ca/fr/blogue/la-force-invisible-du-genie-civil-le-beton-precontraint>
- [17] <https://dywidag.com/pt-BR/projects/precast-concrete-high-rise-building-designed-in-seismic-zone>
- [18] [I G H 01\\_2.pdf](#)
- [19] <https://www.iccsafe.org/building-safety-journal/bsj-technical/a-tall-adventure-the-burj-khalifa-the-worlds-tallest-structure/>
- [20] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Taipei\\_101](https://fr.wikipedia.org/wiki/Taipei_101)
- [21] <https://world-masterpieces.com/the-shard-londres-haut-gratte-ciel/>
- [22] <https://www.ndtv.com/webstories/world/interesting-facts-about-burj-khalifa-24113>
- [23] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/Taipei\\_101\\_from\\_Xiangshan\\_20240729.jpg/800px-Taipei\\_101\\_from\\_Xiangshan\\_20240729.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/Taipei_101_from_Xiangshan_20240729.jpg/800px-Taipei_101_from_Xiangshan_20240729.jpg)
- [24] <https://cdn.heinze.de/m1/41/12556241/images/43/12556243px1200x1800.jpg>
- [25] <https://www.toiture-pro.com/charpente-metallique-avantages-inconvenients/>
- [26] <https://www.tecnostrutture.eu/fra/catalog/tous-les-produits/structures-verticales/poteau-nps-slim.html>
- [27] <https://www.construiracier.fr/technique/solutions-constructives/structures/>
- [28] [https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/web\\_peer808\\_uriz\\_patxi\\_uriz\\_stephen\\_a.\\_mahin.pdf](https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/web_peer808_uriz_patxi_uriz_stephen_a._mahin.pdf)
- [29] [https://www.academia.edu/50826019/Composite\\_Concrete\\_Steel\\_Construction\\_in\\_Tall\\_Buildings?uc-g-sw=5795770](https://www.academia.edu/50826019/Composite_Concrete_Steel_Construction_in_Tall_Buildings?uc-g-sw=5795770)
- [30] [https://www.academia.edu/110446390/A\\_comparative\\_study\\_on\\_steel\\_concrete\\_composite\\_columns\\_for\\_use\\_in\\_RC\\_Tall\\_Buildings\\_in\\_Seismic\\_Areas](https://www.academia.edu/110446390/A_comparative_study_on_steel_concrete_composite_columns_for_use_in_RC_Tall_Buildings_in_Seismic_Areas)
- [31] <https://www.linkedin.com/pulse/shop-fabrication-steel-empire-state-building-vernon-mesler>
- [32] <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1975-validating-the-structural-behavior-and-response-of-burj-khalifa.pdf>
- [33] <https://congress.cimne.com/iacm-eccomas2014/admin/files/filePaper/p411.pdf>
- [34] [https://cdn.ymaws.com/concretenz.org.nz/resource/resmgr/docs/conf/2012/s1\\_p1\\_-\\_cable.pdf](https://cdn.ymaws.com/concretenz.org.nz/resource/resmgr/docs/conf/2012/s1_p1_-_cable.pdf)
- [35] <https://www.jiahexinsteel.com/a-composite-columns-benefits-and-applications-in-modern-construction.html>
- [36] <https://www.batiproduits.com/fiche/produits/colonne-mince-en-acier-avec-noyau-beton-p119902840.html>
- [37] <https://www.wave-nakano.co.jp/en/technology/cft/>

- [38] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fm.french.steel-structurewarehouse.com%2Fsale-12002333-welded-steel-pipe-column-concrete-filled-steel-tubular->
- [39] <http://repo.lib.jfn.ac.lk/ujrr/bitstream/123456789/4237/2/Application%20of%20Steel-Concrete%20Composite%20Columns%20in%20Building%20Construction.pdf>
- [40] <https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/chapitre3lespoteauxmixtes.pdf>
- [41] <https://www.batiproduits.com/fiche/produits/colonne-mince-en-acier-avec-noyau-beton-p119902840.html>
- [42] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.batiproduits.com/>
- [43] <https://www.tradebtp.com/6-poteau-corbeau/>
- [44] <https://www.prefa25.fr/prefabrique/poteaux/>
- [45] <https://structville.com/2020/07/structural-design-of-corbels.html>
- [46] <https://urbanaac.com/columns-with-corbel/>
- [47] <https://www.semi-fermetures.fr/blog/poutres.html>
- [48] <https://blog.projectmaterials.com/category/products/steel/hea-heb-steel-structural-beams/>
- [49] <https://www.chinaroyalsteel.com/hea-heb-hem-european-wide-flange-beams-product/>
- [50] <https://www.codip.fr/blog/news/quelle-est-la-difference-entre-les-differents-types-de-poutrelles->
- [51] <https://beamcut.com/applications-of-i-beams/>
- [52] <https://masteel.co.uk/news/ipe-beams-need-to-know/>
- [53] <https://www.acierlachine.com/produits/poutres-beams-en-h-et-en-i/>
- [54] <https://biblus.accasoftware.com/fr/poutre-metallique-avantages-et-caracteristiques/>
- [55] <https://pro-couvreur.com/charpenterie-focus-sur-la-poutre-en-treillis/>
- [56] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpro-couvreur.com%2Fcharpenterie->
- [57] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics->
- [58] [AMI4371.pdf](#)
- [59] <https://www.spannverbund.com/fr-lu/product/poutre-composite/>
- [60] <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/811/0>
- [61] <https://www.ijraset.com/research-paper/review-on-high-rise-building-with-outrigger-and-belt-truss-system>
- [62] <https://biblus.accasoftware.com/fr/importance-de-la-poutre-en-beton-arme/>
- [63] <https://www.linkedin.com/pulse/role-reinforced-concrete-high-rise-building-alen-davit>
- [64] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.alkern.fr%2Fproducts>
- [65] <https://prefabsystems.be/fr/produits/poutres-en-i-a-hauteur-variable/>
- [66] <https://skyciv.com/fr/docs/tutorials/beam-tutorials/cantilever-beam/>
- [67] <https://www.maconnerie-merotto.com/ouvrages-industriels.php>
- [68] <https://www.infociments.fr/batiment/la-precontrainte-par-post-tension-dans-les-batiments>
- [69] [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/1844/1\\_20precontraint.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/1844/1_20precontraint.pdf)
- [70] <https://www.spicsrl.com/fr/travaux/prefabrication-en-beton-armee/cassoni/>
- [71] <https://www.screeningeagle.com/fr/inspection/locating-rebars-concrete-box-girders>
- [72] [https://www.egfbtp.com/wp-content/uploads/2021/02/la\\_precontrainte\\_en\\_batiment-1.pdf](https://www.egfbtp.com/wp-content/uploads/2021/02/la_precontrainte_en_batiment-1.pdf)
- [73] <https://www.eurobeton.fr/nos-produits-beton/la-structure-beton/les-poutres-beton/>
- [74] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.kp1.fr%2Fproduits%2Fpoutre->
- [75] <https://www.alkern.fr/products/poutre-beton-standard-copy/>
- [76] <https://www.infociments.fr/genie-civil/planchers-en-beton-precontraint-pour-le-batiment-une->
- [77] <https://www.infociments.fr/batiment/la-precontrainte-par-post-tension-dans-les-batiments>
- [78] <https://www.its-entreprise.com/nos-expertises/precontrainte/>
- [79] <https://www.cawandpartners.com/les-elements-de-structure-d-un-batiment-guide-essentiel>
- [80] <https://www.pointp.fr/conseils-experts/tout-savoir-sur-les-differents-types-de-plancher>
- [81] <https://www.univ-chlef.dz/fgca/chapitre1-planchers.pdf>
- [82] <https://fehrgroup.com/beton/dalles-planchers/pleine/>
- [83] <https://www.guidebeton.com/ferraillage-et-treillis-soude-pour-dalle-beton>
- [84] <https://www.rector.fr/produits/dalle-alveolee/>
- [85] <https://www.kp1.fr/produits/dalle-alveolee>
- [86] <https://www.univ-bechar.dz/site/wp-content/uploads/2023/02/Polycopie-Structure-en-BA-1doulidonia-.pdf>
- [87] <https://www.georgaerni.ch/commissions/getreidespeicher-altldorf>

- [88] [https://www.tecnaria.com/download/acciaio/download/CT\\_F\\_CATALOGO\\_FR.pdf](https://www.tecnaria.com/download/acciaio/download/CT_F_CATALOGO_FR.pdf)
- [89] [https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/mixte\\_chapitre\\_2\\_calcul\\_des\\_planchers\\_mixtes.pdf](https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/mixte_chapitre_2_calcul_des_planchers_mixtes.pdf)
- [90] <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/quest-ce-quun-plancher-collaborant/>
- [91] <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/le-plancher-collaborant-caracteristiques-prix-et-pose/>
- [92] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmagon.es%2Ffr%2Fproduits%2Fmg->
- [93] <https://elearning.centre-univ-mila.dz/a-2023/mod/resource/view.php?id=27936>
- [94] [https://www.tecnaria.com/download/acciaio/download/CT\\_F\\_CATALOGO\\_FR.pdf](https://www.tecnaria.com/download/acciaio/download/CT_F_CATALOGO_FR.pdf)
- [95] <https://www.construiracier.fr/technique/solutions-constructives/planchers/>
- [96] <https://elearning.univ-eloued.dz/mod/resource/view.php?id=23005>
- [97] <https://tpeconstructiontour.wordpress.com/2016/12/29/la-structure-et-le-disgn/>
- [98] [https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/systemes\\_structuraux\\_dimmeubles\\_de\\_grande\\_hauteur\\_igh.pdf](https://gc.univ-batna2.dz/sites/default/files/dept-gc/files/systemes_structuraux_dimmeubles_de_grande_hauteur_igh.pdf)
- [99] <https://www.architectura.be/fr/actualite/resistance-au-feu-des-constructions-en-beton/>
- [100] <https://notech.franceserv.com/batiments-a-etages.html>
- [101] <https://notech.franceserv.com/batiments-a-d-articulations>
- [102] <https://www.alamyimages.fr/photos-images/noyau-de-b%C3%A9ton.html?sortBy=relevant>
- [103] CHAPITRE3-CONTREVENTEMENTS-2016.pdf
- [104] <https://takemehigher.over-blog.net/article-5505508.html>
- [105] <https://www.allplan.com/fr/blog/burj-khalifa-le-summum-de-lexcellence-architecturale/>
- [106] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Taipei\\_101](https://fr.wikipedia.org/wiki/Taipei_101)
- [107] <https://www.voyageschine.com/shanghai/attractions/tour-de-shanghai.htm#gsc.tab=0>
- [108] <https://www.doka.com/fr/references/asia/burjkhalifa>
- [109] <https://fr.slideshare.net/slideshow/structures-tubulaires-a-noyau-central-ppt/274838940>
- [110] <https://www.alamyimages.fr/photo-image-le-noyau-d-acier-et-crane-tower-sur-random-house-batiment-au-1540-broadway-a-new-york-city-11322761.html?imageid=1FF286E4-A2A4-4C91->
- [111] [https://www.steelconstruction.info/Concept\\_design#Concrete\\_or\\_steel\\_cores](https://www.steelconstruction.info/Concept_design#Concrete_or_steel_cores)
- [112] <https://www.linkedin.com/pulse/why-more-high-rise-buildings-using-steel>
- [113] <https://cmsmaterialsolutions.com/blogs/news/the-impact-of-building-height-on-material-selection>
- [114] <https://fr.slideshare.net/slideshow/structures-tubulaires-a-noyau-central-ppt/274838940>
- [115] <https://vissteel.com.vn/blog/connection-types-in-steel-structures>
- [116] <https://estimatorflorida.com/fireproofing-cost-estimator-services/>
- [117] <https://structurae.net/fr/ouvrages/john-hancock-center>
- [118] <https://demo.processwire.com/cities/chicago/john-hancock-center/>
- [119] Chapitre 4.pdf
- [120] systemes\_structuraux\_dimmeubles\_de\_grande\_hauteur\_igh\_2.pdf
- [121] <https://world-masterpieces.com/shanghai-tower-chine-gratte-ciel/>
- [122] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fblogpeda.ac-poitiers.fr%2Ffp2i->
- [123] <https://geotechniquehse.com/types-fondations/>
- [124] chapitre-2-fondations.pdf
- [125] <https://geotechniquehse.com/methodes-installation-fondations-sur-pieux/>
- [126] brochure-keller-france-techniques-pieux.pdf
- [127] <https://www.google.com/imgres?q=pieux%20&imgurl=https%3A%2F%2Fgeotechniquehse.com%2F>
- [128] <https://www.allplan.com/fr/blog/burj-khalifa-le-summum-de-lexcellence-architecturale/>
- [129] <https://tpe-gratte-ciel.weebly.com/conclusion---burj-khalifa.html>
- [130] Tour shanghai : innovation verticale époustouflante
- [131] <https://www.zwp.de/de/projekte/buerogebaeude/shanghai-tower-china/>
- [132] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/calcul-et-suivi-d-ouvrages-geotechniques-42219210/fondations-profondes-c248/>
- [133] <https://www.germain.fr/realisations/fondations-speciales/>
- [134] <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/tour-d-horizon-des-techniques-de-fondations.29653>

- [135] <https://www.germain.fr/savoir-faire/fondations-speciales/>
- [136] <https://www.solscope.fr/international-exemples-d-interaction-sol-structure-pour-les-fondations-de-deux-tres-grandes-tours,b12-766.htm?impression=1>
- [137] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/profondes>
- [138] <https://www.capeb-cotedor.fr/gros-oeuvre/les-differents-types-de-fondations-et-leurs-avantages/>
- [139] <https://en.wikiarquitectura.com/building/petronas-towers/>
- [140] <https://www.expatgo.com/my/2013/01/09/the-history-and-construction-of-the-petronas-twin-towers/>
- [141] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tours\\_Petronas#/media/Fichier:The\\_Twins\\_SE\\_Asia\\_2019\\_\(49171985716\)\\_cropped\\_2.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tours_Petronas#/media/Fichier:The_Twins_SE_Asia_2019_(49171985716)_cropped_2.jpg)
- [142] <https://www.digitalbuilding.lu/fr/objet/caisson-de-fondation/>
- [143] <https://geotechniquehse.com/types-fondations/>
- [144] <https://www.alphastructural.com/project-gallery/caissons/>
- [145] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Caisson\\_\(g%C3%A9nie\\_civil\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Caisson_(g%C3%A9nie_civil))

---

## Chapitre III

# Systèmes de contreventement des IGH

---

### Résumé du troisième chapitre :

Ce chapitre traite des dispositifs assurant la stabilité latérale des immeubles de grande hauteur face aux efforts horizontaux, principalement le vent et les séismes. Plusieurs systèmes de contreventement sont présentés, parmi lesquels les noyaux rigides, les cadres contreventés, les murs voiles et les systèmes tubulaires (tube simple, tube dans le tube, superstructures). Chaque solution est illustrée par des cas d'étude réels, permettant de mieux comprendre leurs applications et leurs limites.

## Chapitre III

# Les différents systèmes de contreventement des IGH

## I. INTRODUCTION

La conception des immeubles de grande hauteur présente des défis spécifiques en matière de stabilité et de sécurité. Afin de garantir la résistance de ces édifices face aux forces latérales (vent) et sismiques, l'une des solutions fondamentales repose sur l'utilisation de systèmes de contreventement.

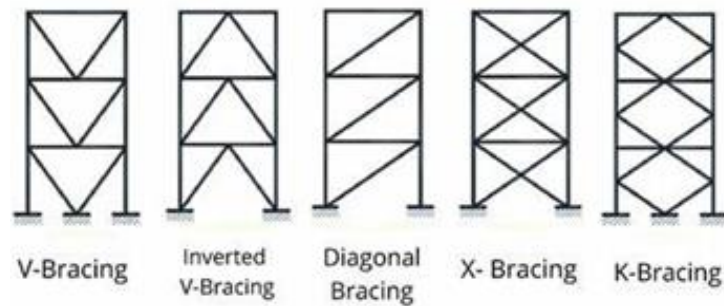
### I.1. Définition du contreventement

Le contreventement désigne l'ensemble des éléments structuraux conçus pour stabiliser un bâtiment face aux sollicitations horizontales, telles que les vents violents ou les séismes. Dans les constructions de faible hauteur, ces efforts sont généralement absorbés par les murs porteurs ou les cadres rigides. En revanche, dans les IGH, en raison de leur grande élévation, les forces horizontales deviennent dominantes, nécessitant des dispositifs spécialisés pour limiter les déformations, prévenir le flambement global et garantir la sécurité des occupants [1], [2].

## II. PRINCIPAUX TYPES DE SYSTEMES DE CONTREVENTEMENT

### II.1. Les systèmes à triangulation (treillis ou contreventements diagonaux)

Les systèmes à triangulation constituent l'un des dispositifs de contreventement les plus efficaces pour assurer la stabilité des structures de grande hauteur. Ils consistent en l'intégration d'un réseau de barres disposées en triangles, une configuration géométrique indéformable permettant de résister efficacement aux efforts horizontaux générés notamment par le vent ou le séisme. Plusieurs configurations sont couramment utilisées, notamment les contreventements diagonaux concentriques, qui prennent la forme de formes en X, en V ou en K (figure III.1), réalisés généralement à l'aide de barres d'acier croisées. Ces éléments peuvent être intégrés à l'intérieur des cadres porteurs ou directement sur les façades du bâtiment, participant à la fois à la résistance structurale et, dans certains cas, à l'aspect architectural de l'édifice [2], [3].



**Figure III.1 :** Différentes formes de contreventements diagonaux [4].

Par ailleurs, certains projets intègrent des treillis spatiaux, qui forment une enveloppe tridimensionnelle autour de la structure principale, contribuant à renforcer la rigidité globale. Ce principe est illustré de manière emblématique par la Tour Eiffel (Paris, France), bien que celle-ci ne soit pas un IGH au sens contemporain du terme. Ce type de système présente l'avantage d'une grande efficacité mécanique, notamment dans les structures très élancées, tout en étant relativement économique et simple à mettre en œuvre [5].



**Figure III.2 :** La tour Eiffel (France)[6].

### Exemple d'application de systèmes à triangulation :

Un exemple d'application est celui de la Burj Khalifa à Dubaï (UEA). Dans les niveaux inférieurs de cette tour, les ingénieurs ont intégré un système de contreventement diagonal pour améliorer la performance globale de la structure et assurer sa stabilité face aux charges latérales importantes générées par les vents de haute altitude [7].

### II.2. Les systèmes en cadres rigides

Les systèmes en cadres rigides reposent sur des ossatures composées de poutres et de colonnes reliées par des nœuds rigides, capables de transmettre des efforts horizontaux. Ce dispositif, applicable en acier ou en béton armé, permet à la structure de résister aux charges latérales sans recourir à des éléments diagonaux. L'un des principaux avantages de ce système

réside dans sa souplesse architecturale, autorisant des aménagements intérieurs libres. Il est néanmoins moins performant pour les très grandes hauteurs (au-delà de 40 étages), car les déformations latérales deviennent importantes, affectant le confort et la sécurité [3], [8].

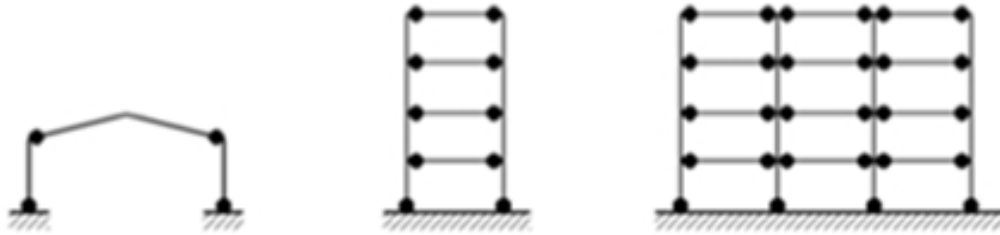


Figure III.3 : Systèmes en cadres rigides [3].

#### Exemple d'application de systèmes en cadres rigides :

Un exemple de structure utilisant le système en cadre rigide est la Tour Montparnasse, située à Paris (France). Avec ses 210 mètres de hauteur répartis sur 59 étages, elle illustre à la fois les possibilités d'aménagement offertes par les portiques et les limites de ce système lorsqu'il est poussé à ses extrêmes, notamment en ce qui concerne le confort vibratoire et les déplacements en tête de bâtiment [8].



Figure III.4 : La tour de Montparnasse (France) en construction [9].

### II.3. Les systèmes à noyau central

Le système à noyau central, également désigné sous le terme de noyau de contreventement, constitue l'un des dispositifs les plus répandus dans la conception des immeubles de grande hauteur. Il repose sur un élément central en béton armé ou en acier, généralement localisé autour des cages d'escaliers, des ascenseurs et des gaines techniques, qui assure la résistance principale aux sollicitations latérales (vent, séisme, torsion). Ce noyau agit comme une colonne verticale rigide, capable de reprendre les moments fléchissant et les efforts

de cisaillement, tout en contribuant à la stabilité globale du bâtiment. Plusieurs configurations sont possibles, parmi lesquelles :

- Le noyau isolé, associé à une structure périphérique composée de poteaux porteurs;
- Le noyau renforcé par des voiles de cisaillement, où des murs supplémentaires viennent accroître la rigidité de l'ensemble.

L'un des principaux atouts de ce système réside dans sa capacité à libérer les plateaux intérieurs de toute contrainte structurelle, offrant ainsi une grande flexibilité d'aménagement. Cette caractéristique le rend particulièrement adapté aux immeubles de bureaux, hôtels ou logements haut de gamme, où la modularité des espaces est un critère déterminant. Ce concept structurel est largement utilisé dans la construction contemporaine.

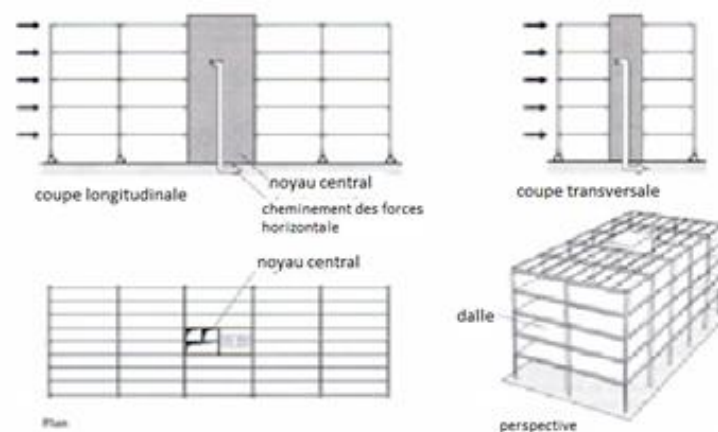


Figure III.5 : Système à noyau central [10].

### Exemple d'application des systèmes à noyau central

Un exemple remarquable est la tour The Shard à Londres (Angleterre), dont la stabilité est assurée par un noyau central massif en béton armé, illustrant l'efficacité de ce système tant sur le plan structurel qu'architectural [3], [5].

### II.4. Les Systèmes tubulaires

Les systèmes tubulaires représentent une avancée majeure dans la conception des structures de grande hauteur. Développés dans les années 1960 par l'ingénieur Fazlur Rahman Khan, ces systèmes reposent sur le principe selon lequel l'enveloppe extérieure du bâtiment agit comme un tube rigide, capable de résister efficacement aux efforts latéraux induits par le vent ou les séismes.

La structure tubulaire permet de transférer les charges horizontales à travers un maillage dense de colonnes et de poutres périphériques, réduisant ainsi la sollicitation du noyau central et libérant l'espace intérieur. Elle offre une distribution plus homogène des contraintes, une grande stabilité et une meilleure efficacité structurale pour les constructions de très grande hauteur.

Plusieurs configurations sont issues de ce concept :

- Le tube simple (Framed Tube) : constitué de colonnes rapprochées en façade, reliées par des poutres rigides. Cette solution est illustrée par la célèbre Willis Tower (anciennement Sears Tower) à Chicago, qui fut pendant un temps le plus haut gratte-ciel du monde.
- Le tube en treillis (Trussed Tube) : intègre des diagonales métalliques sur les façades extérieures, augmentant la rigidité sans nécessiter de colonnes trop rapprochées. Ce système a été mis en œuvre dans la Bank of China Tower à Hong Kong, dont la géométrie triangulée est devenue emblématique.
- Le tube regroupé (Bundled Tube) : combine plusieurs tubes interconnectés, partageant les charges entre eux, comme c'était le cas dans les tours jumelles du World Trade Center à New York. Cette configuration permet une meilleure répartition des efforts verticaux et horizontaux [11].

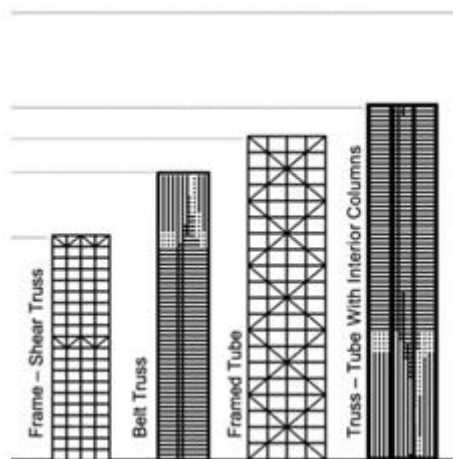


Figure III.6 : Système tubulaire de Fazlur khan [12].

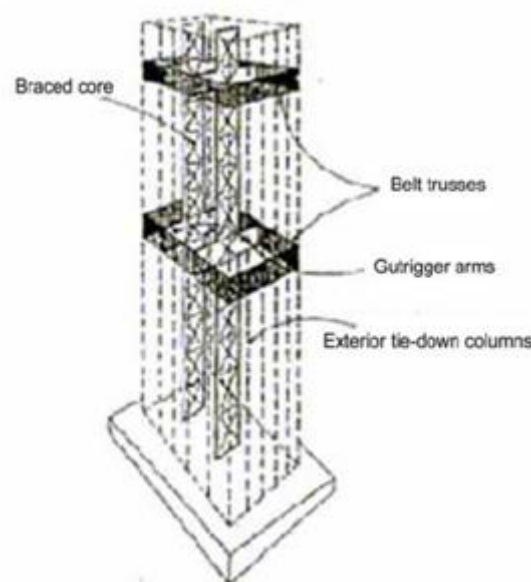
Les systèmes tubulaires permettent d'atteindre des hauteurs exceptionnelles tout en maîtrisant la consommation de matériaux et en garantissant une rigidité suffisante face aux actions dynamiques. Ils représentent aujourd'hui l'une des solutions les plus performantes pour la conception de gratte-ciel dépassant les 300 mètres [11].

### II.5. Les systèmes hybrides

Les systèmes hybrides constituent une approche intégrée et optimisée de la conception structurelle des immeubles de grande hauteur. Ils consistent à combiner plusieurs dispositifs de contreventement dans une même structure afin de tirer parti des avantages spécifiques de chaque système, tout en compensant leurs limites individuelles.

Ces combinaisons peuvent répondre à des contraintes architecturales, structurelles ou fonctionnelles, notamment dans les projets d'envergure ou les contextes exposés à des sollicitations multiples (vent, séisme, torsion).

L'une des applications les plus fréquentes de cette approche est l'association d'un noyau central en béton armé avec des ceintures de rigidité (ou outrigger belts), qui relient le noyau aux colonnes périphériques. Ce dispositif permet une meilleure répartition des efforts latéraux et un contrôle accru des déformations. La tour Taipei 101 à Taïwan illustre parfaitement ce principe, en intégrant également un amortisseur de masse pour améliorer le confort dynamique [13].



**Figure III.7 :** l'association d'un noyau central en béton armé avec des ceintures de rigidité [14].

Une autre forme de système hybride repose sur le concept d'exosquelette structurel, où l'ossature porteuse est partiellement ou entièrement intégrée à la façade du bâtiment. Ce principe est visible dans les deux ouvrages connus que sont :

- 1) La Tour Eiffel (France), dont la charpente métallique forme à la fois l'architecture et la structure porteuse ;

- 2) Le Burj Al Arab à Dubaï, où l'ossature externe contribue à la stabilité de l'édifice tout en affirmant son identité architecturale [15].



Figure III.8 : Exosquelette en acier [16].

Ces systèmes hybrides offrent une très grande liberté de conception aux architectes, tout en maintenant des performances structurales élevées. Ils sont aujourd'hui largement utilisés dans les projets de très grande hauteur, notamment lorsque des exigences esthétiques, techniques et économiques doivent être conciliées [13].

### ***III. CRITERES DE CHOIX D'UN SYSTEME DE CONTREVENTEMENT***

Le choix du système de contreventement dépend de plusieurs facteurs, principalement :

- **Hauteur du bâtiment** : plus le bâtiment est haut, plus il est exposé aux effets du vent et des séismes, nécessitant ainsi des systèmes stabilisateurs efficaces et peu surtout déformables.
- **Conditions climatiques et sismiques locales** : la zone géographique (par exemple, zones sismiques en Algérie) influence fortement la conception du contreventement.
- **Fonctionnalité et esthétique architecturale** : certains systèmes offrent plus de flexibilité intérieure, tandis que d'autres sont plus contraignants (exemple de diagonales visibles sur la façade).
- **Coût et disponibilité des matériaux** : certains systèmes comme les tubes exigent des matériaux spécifiques et une main-d'œuvre hautement qualifiée [17].

#### ***IV. CONCLUSION***

Les systèmes de contreventement sont essentiels pour assurer la stabilité des immeubles de grande hauteur face aux efforts horizontaux, notamment le vent et les séismes. Leur choix dépend de plusieurs facteurs tels que la hauteur, la forme du bâtiment et les contraintes du site. Des solutions variées existent, allant des noyaux rigides aux structures tubulaires et hybrides. Chaque système présente des avantages spécifiques en termes de rigidité et d'efficacité. Leur intégration optimale est une condition clé pour la sécurité des Immeubles de Grande Hauteur.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <https://www.laho-rooftop.fr/contreventement-definition-et-role-dans-la-construction/>
- [2] LES CONTREVENTEMENTS.pdf
- [3] chapitre\_1\_les\_contreventements\_2.pdf
- [4] <https://www.pinterest.com/pin/612137774346168395/>
- [5] LesContreventements.pdf\_2.pdf
- [6] <https://laterreestunjardin.com/tour-eiffel-130-ans/>
- [7] BurjKhalifa.pdf
- [8] <https://fr.xtdsteel.com/blogs/qu-est-ce-qu-un-systeme-de-cadre-rigide--/>
- [9] <https://www.paris.fr/pages/la-tour-montparnasse-fete-ses-50-ans-24034>
- [10] <https://notech.franceserv.com/batiments-a-etages.html>
- [11] <https://www.h-metal.ro/blog/fr/systeme-structurel-tubulaire/>
- [12] [https://www.researchgate.net/figure/Categories-of-steel-structural-systems-for-high-rise-buildings\\_fig3\\_237188711](https://www.researchgate.net/figure/Categories-of-steel-structural-systems-for-high-rise-buildings_fig3_237188711)
- [13] Contreventements.pdf
- [14] [https://www.researchgate.net/figure/The-belt-truss-system-4\\_fig1\\_26843974](https://www.researchgate.net/figure/The-belt-truss-system-4_fig1_26843974)
- [15] <https://www.size-explorer.com/en/compare/buildings/3/eiffel+tower>
- [16] <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/exosquelette-d-acier-suspendu.44744>
- [17] chapitre\_1\_les\_contreventements\_3.pdf

---

# Chapitre IV

## Comportement des IGH face aux vent, séisme, et incendies

---

### Résumé du quatrième chapitre :

Ce chapitre analyse le comportement des structures de grande hauteur face aux aléas naturels et technologiques. Il examine d'une part l'effet du vent (actions dynamiques, vibrations), d'autre part la réponse sismique des structures (accélérations, déformations, dissipation d'énergie), ainsi que les dispositions constructives et réglementaires en matière de sécurité incendie (compartimentage, évacuation, matériaux ignifugés). L'ensemble met en lumière l'importance d'une conception intégrée et multidisciplinaire.

**Chapitre IV****Comportement des IGH face au vent, au séisme, et aux incendies*****I. INTRODUCTION***

Les gratte-ciels, en raison de leur grande hauteur et de leur concentration d'occupants, doivent répondre à des exigences strictes en matière de sécurité structurelle. Leur comportement face aux aléas naturels et accidentels (vent, séisme, incendie) est un élément fondamental dans leur conception. Cette partie examine comment ces bâtiments réagissent à ces sollicitations et les stratégies mises en œuvre pour y faire face.

***II. COMPORTEMENT VIS-A-VIS DU VENT******II.1. Introduction***

La résistance des immeubles de grande hauteur (IGH) aux effets du vent représente un défi central en ingénierie structurelle. L'augmentation de la hauteur amplifie l'exposition aux charges éoliennes, générant des forces latérales critiques, des déformations accrues et un inconfort pour les occupants des étages supérieurs. Ces phénomènes ne concernent pas seulement la résistance mécanique, mais impliquent aussi des comportements dynamiques complexes tels que les vortex, les résonances ou les instabilités aéroélastiques.

En Algérie, les normes de conception face au vent sont définies par le Règlement Neige et Vent (RNV 2013 [1], élaboré par le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS). Ce document normatif précise les pressions de base du vent, les zones géographiques à risque et les coefficients aérodynamiques selon la morphologie, la hauteur et l'environnement des bâtiments.

Cependant, le RNV 2013 cible principalement les constructions standards, généralement limitées à 60 mètres (15-18 étages). Ses prescriptions restent insuffisantes pour les IGH très élancés, où les effets dynamiques (oscillations, vibrations) deviennent prépondérants. Le règlement n'aborde pas, par exemple, les fréquences propres de vibration ni les techniques de contrôle actif/passif des mouvements, pourtant essentielles dans les gratte-ciels.

Par conséquent, bien qu'obligatoire en Algérie, le RNV 2013 nécessite d'être complété par des approches spécifiques pour les projets dépassant 100 mètres : études en soufflerie,

simulations CFD (Computational Fluid Dynamics) ou recours à des normes internationales comme l'Eurocode EN 1991-1-4 ou l'ASCE 7-22 Américaine [1], [2].

## II.2. Caractéristiques physiques du vent

Le vent est un phénomène aléatoire dans le temps et dans l'espace. Il est fortement influencé par la topographie locale, la rugosité du sol (végétation, bâtiments environnants) ainsi que les conditions météorologiques générales. Sa vitesse augmente avec l'altitude, ce qui accentue la pression exercée sur les parties supérieures des gratte-ciels.

L'action du vent est caractérisée par :

- Une vitesse moyenne,
- Des rafales (pics de vitesse),
- Des composantes turbulentes, responsables des variations de pression imprévisibles.

La pression du vent agissant sur une façade est proportionnelle au carré de la vitesse du vent, ce qui signifie que même une faible augmentation de vitesse peut entraîner une augmentation significative des efforts sur la structure [3].

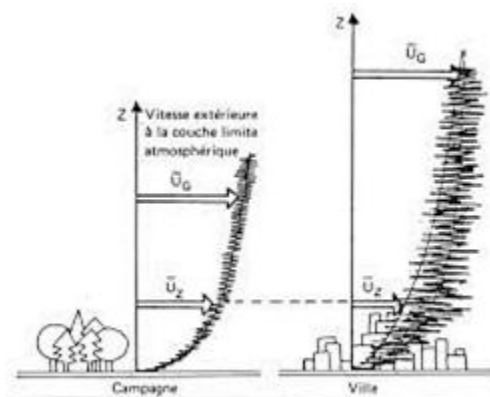


Figure IV. 1 : Actions du vent [4].

## II.3. Effets du vent sur les structures de grande hauteur

Le vent exerce sur les bâtiments de grandes dimensions des forces dynamiques importantes. Ces effets augmentent avec la hauteur, la forme du bâtiment, et son emplacement géographique (zone côtière, altitude, environnement urbain dense, etc.).

Les principaux effets du vent sont :

- Les pressions statiques sur les façades (face au vent et en dépression à l'arrière),

- Les vibrations latérales (oscillations) pouvant provoquer de l'inconfort pour les occupants,
- Le vortex (détachement tourbillonnaire) qui induit des charges alternées et des phénomènes de résonance [4].

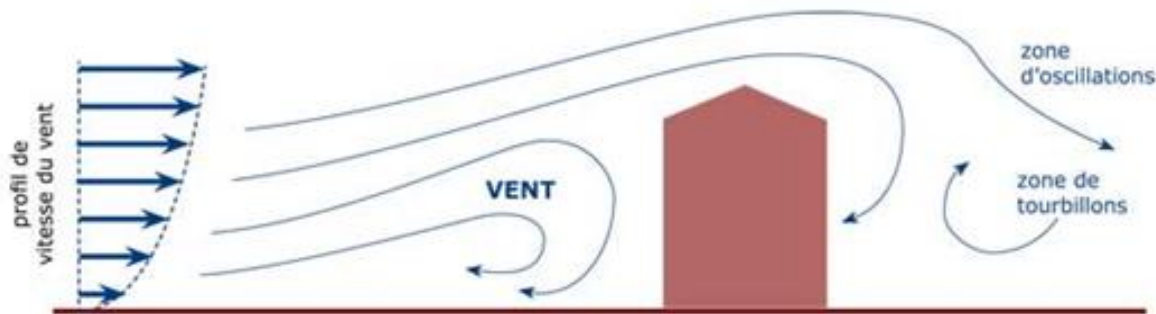


Figure IV.2 : Effets du vent sur les structures de grandes hauteurs [5].

Ces effets peuvent engendrer :

- Des déformations excessives de la structure,
- Des désordres dans les revêtements extérieurs (façades rideaux, vitrages),
- Des nuisances pour les usagers (vertiges, malaises) [4].

#### II.4. Les principales solutions anti-vent dans les IGH

Les gratte-ciels, en raison de leur hauteur exceptionnelle, sont particulièrement exposés aux effets du vent qui peuvent provoquer des oscillations préjudiciables au confort des occupants et à la stabilité de la structure. Pour pallier ces problématiques, les ingénieurs et architectes mettent en œuvre différentes solutions techniques allant de la conception aérodynamique des bâtiments à l'intégration de systèmes de stabilisation avancés. Parmi les approches les plus couramment employées, on peut citer :

##### II.4.1. Forme aérodynamique du bâtiment

Parmi les stratégies les plus efficaces pour atténuer les effets du vent sur les immeubles de grande hauteur, l'optimisation de la forme architecturale occupe une place essentielle. En effet, la géométrie du bâtiment influence directement l'écoulement de l'air et peut permettre de réduire la pression exercée sur la façade, tout en limitant la formation de tourbillons (vortex) responsables des vibrations transversales. Une forme bien étudiée permet ainsi de minimiser les sollicitations dynamiques et d'améliorer le confort des occupants. Un exemple remarquable de cette approche est la Shanghai Tower, en Chine, dont la forme torsadée en spirale a été spécifiquement conçue pour perturber la régularité des flux d'air. Grâce à cette conception

aérodynamique, la tour parvient à réduire les charges de vent de près de 24 %, tout en affichant une silhouette élégante et iconique [6], [7].



**Figure IV. 2:** La Shanghai Tower (Chine) [8].

#### II.4.2. Ouvertures et retraits dans la structure

Une autre stratégie couramment employée pour atténuer les effets du vent dans les immeubles de grande hauteur consiste à intégrer des ouvertures ou des retraits dans la structure. Cette technique vise à laisser passer une partie du flux d'air à travers la tour, réduisant ainsi la pression exercée sur l'enveloppe extérieure et diminuant la formation de turbulences. Plutôt que d'agir comme un obstacle rigide au vent, la structure devient partiellement perméable, ce qui permet d'équilibrer les charges latérales et d'améliorer le comportement aérodynamique global.

Un exemple emblématique de cette approche est la Burj Khalifa, à Dubaï. Ce gratte-ciel adopte une forme en "Y" asymétrique, accompagnée de retraits progressifs aux étages supérieurs, ce qui permet de casser la régularité du vent et d'atténuer les effets de vortex le long de la façade. Cette configuration contribue de manière significative à la stabilité de la tour, tout en renforçant sa signature architecturale [7], [9].



Figure IV.3 : La forme en Y de la Burj khalifa (UEA) [10].

### II.4.3. Structures très rigides

Une approche fondamentale pour assurer la stabilité des immeubles de grande hauteur face aux sollicitations éoliennes consiste à adopter des structures très rigides, capables de résister efficacement aux efforts latéraux. Cette rigidité est obtenue grâce à des systèmes structuraux renforcés, tels que les structures tubulaires, les noyaux en béton armé ou encore les contreventements en treillis métalliques.

Les structures tubulaires, introduites par Fazlur Khan dans les années 1960, permettent d'utiliser la façade extérieure du bâtiment comme un tube rigide, assurant ainsi une répartition homogène des charges et une réduction significative des déformations. Un exemple emblématique est la Willis Tower à Chicago, qui adopte un système de tubes regroupés) composé de neuf modules verticaux interconnectés, offrant une grande stabilité latérale malgré une hauteur de 442 mètres [7], [11].



Figure IV.4 : La willis Tower à Chicago (USA) [12].

Un autre exemple remarquable est celui de la Bank of China Tower, à Hong Kong, dont la façade est renforcée par un treillis métallique en diagonales. Ce dispositif agit comme un exosquelette structural, conférant au bâtiment une grande rigidité tout en exprimant une esthétique architecturale audacieuse. Ces solutions permettent non seulement de contrôler les déplacements latéraux sous l'effet du vent, mais aussi de minimiser la masse des éléments porteurs internes, libérant ainsi l'espace intérieur [13].



**Figure IV.5 :** La Bank of China Tower (Chine) [14].

#### **II.4.4. Amortisseurs de masse (TMD)**

Les amortisseurs de masse accordés (TMD) sont des dispositifs utilisés dans les gratte-ciels pour réduire les effets dynamiques du vent et des séismes modérés. Installés généralement au sommet des bâtiments, ils fonctionnent en oscillant en sens opposé aux mouvements de la structure, ce qui permet d'absorber l'énergie vibratoire et de limiter les oscillations.

Un exemple emblématique de cette technologie est la Taipei 101, à Taïwan, où un amortisseur sphérique de 660 tonnes a été installé entre les 87<sup>ième</sup> et 92<sup>ième</sup> étages. Suspendu à l'intérieur de la structure, il est non seulement fonctionnel, mais aussi visible du public, illustrant ainsi l'intégration réussie de l'ingénierie et de l'architecture [15].



**Figure IV.6 :** L'emplacement de l'amortisseur de la Taipei 101[16].

Ce dispositif contribue de manière décisive au confort des occupants en réduisant les accélérations ressenties aux étages supérieurs, tout en préservant l'intégrité structurelle du bâtiment face aux sollicitations dynamiques [15].

#### **II.4.5. Tests en soufflerie et simulations numériques**

Le test en soufflerie est une méthode expérimentale utilisée pour étudier les effets du vent sur les structures, en particulier les gratte-ciels et autres bâtiments de grande hauteur. En créant un environnement contrôlé où une maquette réduite du bâtiment est soumise à des flux d'air simulant les conditions réelles de vent, ce test permet de mesurer les forces de pression, les turbulences et les oscillations qui peuvent affecter la stabilité et le confort des occupants. Utilisé principalement lors de la conception de bâtiments soumis à des vents forts ou des configurations particulières, il permet d'optimiser la forme et la structure du bâtiment pour assurer sa sécurité et sa durabilité face aux contraintes aérodynamiques [17].

##### **III.4.5.1. Méthodologie expérimentale**

Les essais en soufflerie consistent à soumettre une maquette architecturale à l'échelle réduite à des flux d'air contrôlés dans un tunnel aérodynamique. Cette approche permet :

- L'analyse quantitative des pressions surfaciques sur les façades ;
- La détermination des efforts latéraux globaux exercés sur la structure ;
- L'identification des réponses dynamiques selon les modes propres de vibration ;
- L'optimisation des paramètres architecturaux et des dispositifs de mitigation vibratoire (par exemple, les amortisseurs de masse accordés).

Contrairement aux normes prescriptives telles que le **RNV 2013** [1], ces essais intègrent des variables spécifiques au projet : géométrie exacte du bâtiment, rugosité du terrain avoisinant et topographie locale [17].

#### III.4.5.2. Exemples de gratte-ciels ayant subi des tests en soufflerie

- **The Shard (Londres, 310 m)** : La forme effilée et la hauteur de cette tour ont nécessité des tests en soufflerie pour évaluer les charges de vent et les turbulences [18].
- **Burj Khalifa (Dubai, 828 m)** : La Burj Khalifa, le plus haut gratte-ciel du monde, a été soumise à des essais en soufflerie pour optimiser sa stabilité face aux vents. Une maquette instrumentée avec plus de 1 000 capteurs de pression a été testée pour analyser les effets du vent et ajuster la conception en conséquence [19].



Figure IV.7 : La tour The Shard[20].



Figure IV.8 : Maquette pour le test en soufflerie du Burj Khalifa [21].

### III. COMPORTEMENT DES IGH VIS-A-VIS DU SÉISME

### **III.1. Introduction**

La conception des immeubles de grande hauteur (IGH) en zones sismiques constitue une problématique majeure en ingénierie des structures, en particulier dans les régions à aléa élevé telles que le nord de l'Algérie. Par leur géométrie élancée, leur souplesse accrue et leur masse concentrée en altitude, ces structures présentent un comportement dynamique distinct de celui des bâtiments conventionnels lors d'un séisme. Elles sont notamment soumises à des phénomènes d'amplification des déplacements, à des effets de torsion accrus, et à une répartition inégale des sollicitations le long de leur hauteur.

En Algérie, la réglementation en vigueur en matière de conception parasismique est régie par le Règlement Parasismique Algérien [22], élaboré par le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS). Ce règlement s'applique à l'ensemble des constructions situées dans les zones sismiques classées I, II et III, en fonction de la carte d'aléa national. Il impose, selon le type et la hauteur du bâtiment, des exigences de conception spécifiques, notamment pour les structures dépassant 60 mètres de hauteur ou plus de 20 étages, qui doivent faire l'objet d'une analyse dynamique modale spectrale.

Le RPA 2024 fixe également des valeurs seuils de résistance mécanique pour les matériaux utilisés. Ainsi, les bétons armés doivent présenter une résistance minimale de 25 MPa (classe C25/30), tandis que des résistances allant jusqu'à 50 MPa (C50/60) peuvent être admises dans les éléments fortement sollicités ou critiques, notamment dans les noyaux ou les fondations profondes. En outre, le règlement insiste sur l'importance d'une conception ductile, garantissant une dissipation maîtrisée de l'énergie sismique par des déformations plastiques localisées, sans rupture fragile.

Toutefois, malgré ces avancées, le RPA 2024 demeure relativement généraliste et ne traite pas de manière détaillée le cas particulier des gratte-ciel (structures excédant 100 mètres). Pour ces ouvrages, la pratique internationale recommande le recours à des approches complémentaires, telles que :

- L'analyse non linéaire par histoire temporelle à l'aide d'accélérogrammes représentatifs,
- L'isolation sismique à la base,
- Ou l'intégration de dispositifs de dissipation d'énergie dans la structure [22], [23].

### **III.2. Effets du séisme sur les Immeubles de Grande Hauteur**

Les immeubles de grande hauteur (IGH) réagissent de manière spécifique aux séismes en raison de leur élancement, de leur flexibilité et de leur masse concentrée à grande altitude. Contrairement aux structures basses, qui répondent principalement en régime rigide, les IGH présentent une réponse dynamique complexe, influencée par la période propre de la structure, les modes de vibration, et les irrégularités géométriques ou de masse [24].

### III.2.1. Amplification des déplacements aux étages supérieurs

Les gratte-ciels possèdent une période propre longue, souvent proche des composantes de basse fréquence des séismes. Cela peut conduire à des effets de résonance, où les déplacements horizontaux augmentent significativement à mesure que l'on monte dans les étages. Ces déplacements inter-étages importants peuvent provoquer des fissurations dans les éléments non structuraux (cloisons, murs rideaux, plafonds suspendus) et nuire au confort et à la sécurité des occupants.

### III.2.2. Effets de torsion

Lorsqu'un bâtiment présente une asymétrie dans la répartition des masses ou des rigidités, il est sujet à une torsion autour de son axe vertical, en plus du déplacement latéral principal. Cette rotation provoque une concentration des efforts dans certaines zones, notamment aux angles opposés à l'axe de torsion, ce qui peut accroître le risque de rupture localisée ou de défaillance structurelle.

### III.2.3. Perte de stabilité locale ou globale

Un séisme de forte intensité peut entraîner plusieurs types d'instabilités structurelles :

- Le flambement ou l'instabilité locale de certains éléments élancés (colonnes, contreventements),
- Des effondrements progressifs dus à la défaillance de connexions ou de jonctions critiques,
- Des mouvements de fondation différés, notamment en cas de liquéfaction des sols, entraînant des affaissements ou des basculements localisés.

### III.2.4. Altération des systèmes fonctionnels et vitaux

Les séismes peuvent également affecter les systèmes de fonctionnement interne de l'immeuble, essentiels à l'évacuation et à l'exploitation :

- Blocage ou défaillance des ascenseurs,
- Rupture des réseaux de distribution (canalisations, gaines techniques),
- Obstruction des issues de secours,

- Chute d'éléments de façade (vitrages, bardages, panneaux décoratifs).

### III.2. 5. Atteinte au confort et à l'usage post-sismique

Même en l'absence de dommages structurels graves, un IGH peut devenir inutilisable après un séisme, notamment en raison :

- Des oscillations prolongées ressenties aux étages élevés,
- Du déplacement ou de la désorganisation des équipements (mobilier, cloisons légères, systèmes techniques),
- De la dégradation du sentiment de sécurité psychologique chez les usagers, pouvant justifier une évacuation temporaire ou prolongée [24], [25].

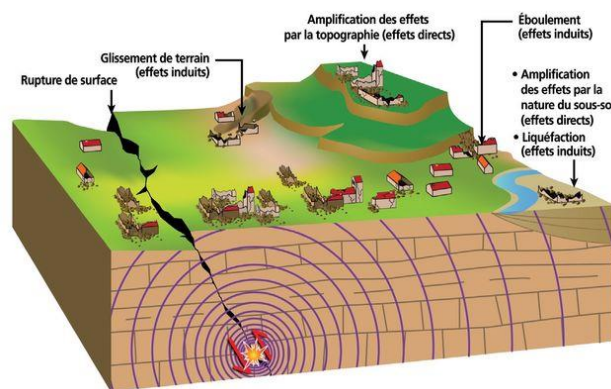


Figure IV.9 : Effets du séisme [26].

### III.3. Principales stratégies de protection sismique des immeubles de grande hauteur

Comme il est connu, le séisme est la principale source de dégâts sur les constructions. Quelques exemples de destructions de bâtiments générées par des séismes récents sont illustrées à travers les deux photos suivantes :



Figure IV.10 : Séisme du 6 février 2023 en Turquie [27].



**Figure IV.11 :** Séisme meurtrier à Taiwan [28].

La conception parasismique des immeubles de grande hauteur repose sur un ensemble de stratégies complémentaires visant à assurer leur stabilité, leur intégrité structurelle et la sécurité des occupants lors d'un séisme. Ces stratégies s'articulent autour de cinq axes majeurs

### III.3.1. Conception structurale optimisée

La stabilité d'un IGH face au séisme repose avant tout sur une organisation structurale cohérente et efficace. L'adoption de noyaux centraux en béton armé permet d'assurer une forte rigidité en flexion et en torsion, servant de colonne vertébrale à l'ensemble du bâtiment. Ces noyaux sont souvent combinés à des systèmes de contreventement latéral, tels que des cadres rigides, des murs porteurs, des treillis métalliques ou encore des structures tubulaires (exemple : systèmes tubulaires groupés).

La symétrie dans la répartition des masses et des rigidités est également un principe fondamental, car elle limite les effets de torsion et favorise une dissipation homogène des efforts sismiques. Une configuration irrégulière peut en effet entraîner des concentrations de contraintes locales et accroître le risque de rupture prématurée [29].

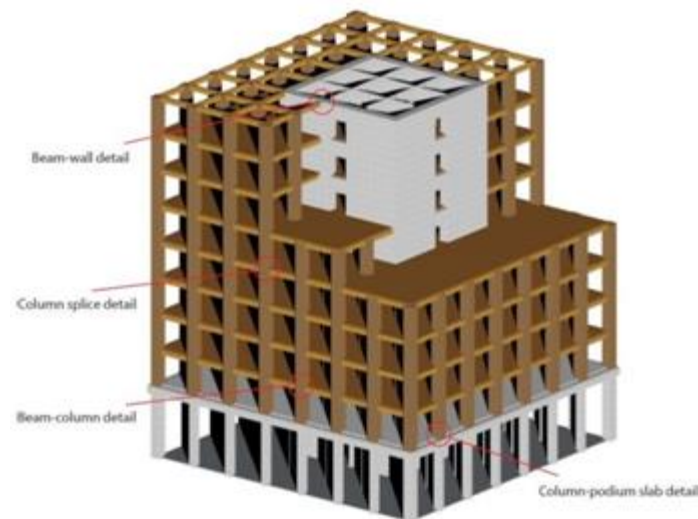


Figure IV.12 : Structure 3D avec noyau central [30].

### III.3.2. Conception ductile des éléments structuraux

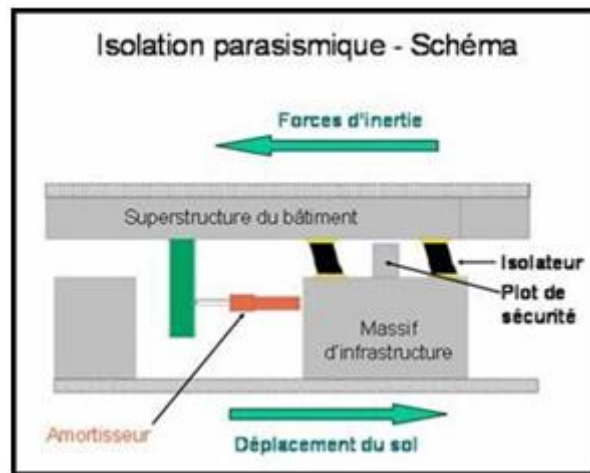
La ductilité désigne la capacité d'une structure à subir de grandes déformations plastiques sans perte soudaine de résistance. Dans un contexte sismique, cette propriété est essentielle pour permettre au bâtiment d'absorber une part importante de l'énergie transmise par le sol. La conception ductile repose sur un dimensionnement approprié des zones critiques (nœuds poutre-colonne, extrémités des poutres et des voiles) et sur des détails constructifs soignés (étriers rapprochés, enrobage suffisant, ancrages convenables, etc.).

Le RPA 2024 insiste sur la nécessité de garantir une hiérarchie des résistances dans les éléments porteurs, de manière à privilégier les modes de rupture ductiles (par flexion ou cisaillement contrôlé) plutôt que des défaillances fragiles (ruptures par compression ou flambement localisé) [22], [29].

### III.3.3. Isolation sismique à la base

L'isolation sismique consiste à introduire des dispositifs déformables entre les fondations et la superstructure du bâtiment, tels que des appuis en élastomère fretté, des appuis à glissement ou des isolateurs hybrides. Ces éléments réduisent la transmission directe des accélérations sismiques, en allongeant la période propre de vibration du système et en filtrant les composantes hautes fréquences du mouvement du sol.

Cette technique est particulièrement adaptée aux IGH construits sur des sols souples ou dans des zones sismiques très actives. Elle permet non seulement de préserver l'intégrité structurelle de l'édifice, mais également de garantir le fonctionnement continu de ses installations après un séisme [31], [32].



**Figure IV.13 :** Isolation sismique à la base [31].

À titre d'exemple de l'application de l'isolation sismique à la base, la Grande Mosquée d'Alger constitue un modèle notable. En raison de la vulnérabilité sismique de la région, ce projet a intégré un système d'isolation sismique à la base, conçu pour amortir les effets des mouvements du sol. Grâce à l'installation de 250 isolateurs et d'amortisseurs hydrauliques, la structure est capable de résister à un séisme majeur, garantissant ainsi la stabilité et la sécurité du bâtiment. Cet exemple illustre l'efficacité de cette technologie dans les zones à fort risque sismique, et souligne l'importance de telles innovations dans la conception des grandes infrastructures [33].



**Figure IV.14 :** Système d'isolation à la base de la grande mosquée d'Alger [34].



Figure IV. 15 : La grande mosquée d'Algérie [35].

#### III.3.4. Dispositifs de dissipation d'énergie

Pour améliorer encore la réponse dynamique du bâtiment, des dispositifs dissipateurs d'énergie peuvent être intégrés dans la structure. Ces systèmes, tels que les amortisseurs viscoélastiques, les amortisseurs à fluide visqueux, ou les barres à fusion contrôlée, permettent de réduire les forces internes et les déplacements relatifs entre les étages.

Installés entre les poutres et les colonnes ou dans les diagonales de contreventement, ils transforment une partie de l'énergie vibratoire en chaleur ou en déformation contrôlée, limitant ainsi les dégâts structuraux et non structuraux. Leur emploi devient de plus en plus courant dans les IGH modernes, en particulier ceux construits dans les mégapoles sismiquement actives [36].



Figure IV. 16: Amortisseur de masse de la tour de Taïpeh 101 [37].

#### III.3.5. Analyses dynamiques non linéaires avancées

L'évaluation sismique des IGH ne peut se limiter aux approches statiques traditionnelles. Le RPA 2024 rend obligatoire, pour ce type de bâtiment, l'utilisation d'analyses dynamiques

modales spectrales ou d'analyses par histoire temporelle, à partir de plusieurs accélérogrammes représentatifs du site[22].

Ces méthodes permettent de prendre en compte les effets d'interaction entre les différents modes de vibration, les non-linéarités du comportement des matériaux et des connexions, ainsi que la propagation réaliste des ondes sismiques. Elles offrent ainsi une modélisation plus précise du comportement global du bâtiment, et permettent de valider l'efficacité des solutions retenues (contreventement, isolation, dissipation)[38].

## **IV. COMPORTEMENT VIS-A-VIS DU FEU**

### **IV.1. Introduction**

Le feu est un phénomène chimique de combustion qui génère chaleur, lumière et produits gazeux, principalement du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Un incendie désigne un feu incontrôlé qui se propage rapidement, souvent avec des conséquences graves pour les structures et les occupants.

Le comportement des immeubles de grande hauteur (IGH) face au feu constitue un enjeu majeur en matière de sécurité incendie, en raison de la complexité des interactions entre les occupants, la structure du bâtiment et les équipements de lutte contre l'incendie. Les incendies dans les IGH présentent des risques considérables, notamment en raison de la hauteur des bâtiments, qui limite l'accès aux secours et complique l'évacuation des occupants.

La propagation rapide du feu, alimentée par les matériaux de construction et les systèmes d'aération, peut entraîner une déstabilisation des structures porteuses, menaçant l'intégrité du bâtiment. De plus, les phénomènes de fumées et de chaleur peuvent affecter la sécurité des occupants, rendant l'évacuation difficile. Ainsi, la conception des IGH doit intégrer des solutions techniques visant à limiter la propagation du feu, à renforcer la résistance au feu des matériaux et à garantir la sécurité des personnes, notamment à travers des systèmes de compartimentage, des matériaux ignifuges et des dispositifs d'évacuation adaptés. L'approche réglementaire et les innovations en matière de sécurité incendie jouent également un rôle clé dans la prévention des risques et la gestion des incendies dans ces bâtiments complexes [39].

En Algérie, des réglementations telles que le Code de la construction et de l'urbanisme et la norme Européenne NF EN 1991-1-2 (Eurocode 1) régissent les exigences en matière de sécurité incendie pour les bâtiments, y compris les IGH, afin de garantir la protection des vies humaines et la sécurité des structures [40].

## ***IV.2. Effets du feu sur la structure***

Un incendie génère des températures pouvant dépasser 1000 °C, affectant directement les caractéristiques mécaniques des matériaux de construction. Dans un IGH, cette dégradation peut entraîner :

### **IV.2.1. Perte de résistance des matériaux**

- **Béton armé** : le béton perd progressivement sa résistance mécanique au-delà de 300 °C, tandis que les armatures en acier perdent leur rigidité et leur adhérence avec le béton. À partir de 500 à 600 °C, une perte significative de capacité portante peut survenir.
- **Acier** : l'acier est particulièrement vulnérable au feu, sa résistance diminuant rapidement dès 400 °C. À 600 °C, sa capacité portante est réduite de plus de 50 %, ce qui peut conduire à un effondrement partiel ou global de la structure si aucune protection passive n'est appliquée.
- **Verre** : Le verre, bien que plus fragile sous l'effet thermique, peut se briser sous l'effet des variations rapides de température (choc thermique). Cela peut créer des risques supplémentaires pour les occupants et compliquer les efforts d'extinction.

### **IV.2.2. Propagation verticale du feu**

Dans le gratte-ciel, le feu tend à se propager verticalement à travers les gaines d'ascenseur, les conduits techniques et les façades vitrées. Sans dispositifs de compartimentage ou de désenfumage efficaces, cette propagation rapide accroît le danger pour les occupants et complique l'intervention des secours.

### **IV.2.3. Production de fumées toxiques**

Les fumées produites lors d'un incendie sont riches en gaz toxiques (monoxyde de carbone, cyanure d'hydrogène, etc.). L'inhalation de fumée est la première cause de mortalité dans les incendies de grande hauteur. De plus, la fumée réduit la visibilité, ralentissant ainsi l'évacuation des occupants.

### **IV.2.4. Déformation de la structure**

L'exposition prolongée au feu entraîne des dilatations différentielles entre les matériaux générant des contraintes internes. Ces déformations peuvent provoquer des fissures, des instabilités et, à terme, l'effondrement partiel ou total du bâtiment.

#### IV.2.5. Impact sur l'évacuation et les secours

Le feu, la chaleur et les fumées rendent les escaliers non protégés impraticables. Les systèmes d'évacuation doivent être sécurisés par des gaines coupe-feu et des dispositifs de pressurisation. L'accès des secours est également réglementé : en Algérie, par exemple, l'accès pour les véhicules d'intervention doit être prévu dans un rayon de 3 kilomètres avec des voies suffisamment dimensionnées pour permettre un déploiement rapide[41] [42].

#### Exemple : L'incendie de la tour Grenfell à Londres (2017)

La tour Grenfell à Londres a été ravagée par un incendie majeur en 2017, illustrant la vulnérabilité des gratte-ciels face au feu. La propagation rapide des flammes a été favorisée par des façades en matériaux inflammables. L'incendie a généré d'importantes fumées toxiques et a révélé des défaillances des systèmes de sécurité. Cet événement a conduit à une révision des normes de sécurité incendie pour les immeubles de grande hauteur [43].



Figure IV. 17: L'incendie de la tour Grenfell à Londres (2017)[44].

### IV.3. Stratégies de protection incendie dans les IGH

Les Immeubles de Grande Hauteur (IGH) présentent des défis uniques en matière de sécurité incendie en raison de leur hauteur, de leur complexité et de la difficulté d'accès pour les secours. Voici les stratégies clés de protection incendie dans les IGH, basées sur la réglementation en vigueur dans certains pays ainsi que les bonnes pratiques.

#### IV.3.1. Compartimentation et résistance au feu

- Les IGH doivent être divisés en compartiments étanches (max. 2 500 m<sup>2</sup> et 75 m de longueur) pour limiter la propagation du feu et des fumées. Chaque compartiment doit avoir une résistance minimale au feu (parois, portes coupe-feu),
- Les matériaux de construction doivent respecter les normes de réaction et résistance au feu. Par exemple, le béton et le plâtre sont des matériaux privilégiés pour leur faible contribution au feu [45].

#### IV.3.2. Systèmes de détection et d'alarme

- Un Système de Sécurité Incendie (SSI) de catégorie A (Le SSI de catégorie A est le système le plus complet. Il se compose d'un système de détection incendie (SDI) et d'un système de mise en sécurité incendie (SMSI) assurant l'évacuation, voire le compartimentage et le désenfumage).est obligatoire, avec des détecteurs automatiques dans les circulations, locaux à risques, et chambres (pour les IGH hôteliers/hospitaliers),
- L'alarme est déclenchée automatiquement dans le compartiment concerné, sans évacuer tout l'immeuble, pour éviter la panique [46].

#### IV.3.3. Désenfumage et évacuation

- Un système de désenfumage mécanique ou naturel est imposé dans les couloirs et locaux collectifs (>300 m<sup>2</sup>) pour maintenir des voies respirables,
- Les escaliers doivent être compartimentés et protégés des fumées, servant de zones refuges. L'évacuation est organisée par étages, avec un temps estimé à 1 minute par étage [47].

#### IV.3.4. Service de Sécurité Incendie et d'assistance personnes (SSIAP)

Le service de sécurité incendie et d'assistance à personnes (SSIAP) a pour rôle d'assurer la sécurité des personnes et des biens en cas d'incendie. Les missions du SSIAP sont: la prévention du risque incendie ; la formation et la sensibilisation du personnel de l'établissement aux règles de sécurité ; l'entretien des moyens de lutte incendie ; l'intervention en cas d'incident.

Pratiquement il est structuré de la manière suivante :

- Un service de sécurité permanent (24h/24) est obligatoire, composé d'agents SSIAP (niveau 1 à 3 selon la taille de l'IGH). Leurs missions incluent
- Surveillance au poste central de sécurité,
- Rondes quotidiennes et gestion des exercices d'évacuation,
- Intervention en cas d'incendie (premiers secours, guidage des pompiers) [46].

#### IV.3.5. Maintenance et contrôles réguliers

- Vérifications annuelles par des organismes agréés : installations électriques, désenfumage, extincteurs, etc.
- Un registre de sécurité doit documenter toutes les opérations de maintenance et les exercices [46], [48].

#### IV.3.6. Adaptation aux nouveaux défis

- Pour les IGH modernes (enveloppes continues, matériaux combustibles comme le bois), des stratégies innovantes sont nécessaires :
  - Auto-extinction du bois (éviter la délamination des CLT).
  - Prise en compte des déplacements relatifs entre façade et planchers lors d'un incendie [49].

### V.4. CONCLUSION

L'étude du comportement des immeubles de grande hauteur face aux sollicitations naturelles et accidentelles telles que le vent, le séisme et l'incendie met en évidence la complexité des exigences structurelles et sécuritaires que ces ouvrages doivent satisfaire. Toutefois, la maîtrise de ces aspects techniques ne saurait suffire sans une analyse approfondie de la faisabilité contextuelle. Ainsi, il convient désormais d'examiner la capacité de l'Algérie à accueillir de tels projets, à travers l'évaluation des cadres réglementaires, des compétences locales, des ressources matérielles et des défis économiques et technologiques associés.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] [https://www.cnerib.edu.dz/images/pdf/dtr\\_guides/DTR\\_C\\_2-47\\_2013\\_extrait.pdf](https://www.cnerib.edu.dz/images/pdf/dtr_guides/DTR_C_2-47_2013_extrait.pdf)
- [2] [https://tpeconstructiontour.wordpress.com/2016/12/27/les-contraintes-de- .](https://tpeconstructiontour.wordpress.com/2016/12/27/les-contraintes-de-)
- [3] CHAPITRE IV.pdf
- [4] Cours-Flamand.pdf
- [5] [https://conseils.xpair.com/actualite\\_experts/effets-air-exterieur-sur-bati.htm](https://conseils.xpair.com/actualite_experts/effets-air-exterieur-sur-bati.htm)
- [6] <https://tpeconstructiontour.wordpress.com/2016/12/27/les-contraintes-de-lair/>
- [7] <https://dokmimarlik.com/fr/solutions-aux-charges-de-vent-pour-les-batiments-de-grande-hauteur/>
- [8] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.instagram.com>
- [9] <https://www.allplan.com/fr/blog/burj-khalifa-le-summum-de-lexcelle-architecturale/>
- [10] <https://uk.pinterest.com/pin/380765343498184341/>
- [11] <https://parametric-architecture.com/willis-tower-chicago-icon/>
- [12] <https://blogs.illinois.edu/view/6231/747770>
- [13] [https://wikimonde.com/article/Tour\\_de\\_la\\_Bank\\_of\\_China](https://wikimonde.com/article/Tour_de_la_Bank_of_China)
- [14] <https://www.archdaily.com/153297/ad-classics-bank-of-china-tower-i-m-pe>
- [15] 32-620-193-1\_2.pdf
- [16] [https://www.corriere.it/cronache/24\\_aprile\\_03/taipei-101-super-grattacielo-prova-sisma-contrast-oscillazioni-grazie-un-enorme-sfera-92-piano-sistema-realizzato-italia-b219c760-f1b1-11ee-8ce8-d1851d0e956a.shtml](https://www.corriere.it/cronache/24_aprile_03/taipei-101-super-grattacielo-prova-sisma-contrast-oscillazioni-grazie-un-enorme-sfera-92-piano-sistema-realizzato-italia-b219c760-f1b1-11ee-8ce8-d1851d0e956a.shtml)
- [17] VENT-GRATTE-CIEL[1]\_4.pdf
- [18] resm2021.361st1101\_2.pdf
- [19] [https://web.archive.org/web/20070503022255/http://www.rwdi.com/project\\_profiles/burj\\_dubai/](https://web.archive.org/web/20070503022255/http://www.rwdi.com/project_profiles/burj_dubai/)
- [20] 10,300+ The Shard Stock Photos, Pictures & Royalty-Free Images - iStock
- [21] [https://www.researchgate.net/figure/Burj-Khalifa-Model-for-Wind-Tunnel-Testing-Scale-1500-18\\_fig2\\_324803649](https://www.researchgate.net/figure/Burj-Khalifa-Model-for-Wind-Tunnel-Testing-Scale-1500-18_fig2_324803649)
- [22] RPA-2024\_2.pdf
- [23] <https://adesol-groupe.com/blog/construction-parasismique-igh#:~:text=Dans%20le%20cas%20des%20immeubles,que%20sur%20les%20compartimentations%20locales.>
- [24] 3488-document-general.pdf
- [25] SEISME-BATIMENT\_2.pdf
- [26] SVT - Niveau 4ème - SVT 4ème - Forain François Verdier de Leguevin
- [27] <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=YeFdsr2I&id=5936F45CC76B68EB2608DB8DF626ED40005C624A&thid=OIP.YeFdsr2IUC->
- [28] <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=dVknLD1a&id=E6A6FA>
- [29] <https://biblus.accasoftware.com/fr/construction-parasismique/>
- [30] <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=Vyv1J5tF&id=D3110>
- [31] [http://cmoiii5.free.fr/parasismique/partie\\_2.php#google\\_vignette](http://cmoiii5.free.fr/parasismique/partie_2.php#google_vignette)
- [32] Systèmes d'isolation sismique - Systèmes de contrôle passif des vibrations
- [33] [https://www.tsa-algerie.com/video-grande-mosquee-dalger-le-systeme-antisismique-de-la-salle- .](https://www.tsa-algerie.com/video-grande-mosquee-dalger-le-systeme-antisismique-de-la-salle-)
- [34] <https://structurae.net/en/products-services/500-years-earthquake-protection-for-great-mosque-of-algiers>
- [35] <https://french.ahram.org.eg/NewsContent/2/8/43828/International/Monde-Arabe/Inauguration-quot;officiellequot;-de-la-Grande-mos.aspx>
- [36] TH.M.GC.FR.2021.21.pdf
- [37] <https://fr.dreamstime.com/image-%C3%A9ditorial-amortisseur-masse-accord%C3%A9->
- [38] Chapitre V etude sismique.pdf
- [39] <https://formation.lefebvre-dalloz.fr/actualite/erp-et-igh-connaître-les-obligations-en-matière-de-sécurité-et-d'incendie>
- [40] <https://www.boonyaninfo.com/la-reglementation-technique-du-batiment-en-algerie/>
- [41] <https://www.reseau-def.com/votre-secteur/igh/>
- [42] CT-B94\_2.pdf

- 
- [43] [https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/que-s-est-il-vraiment-passe-lors-de-l-incendie-de-la-tour-grenfell-a-londres\\_114202](https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/que-s-est-il-vraiment-passe-lors-de-l-incendie-de-la-tour-grenfell-a-londres_114202)
- [44] <https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/affaires-sensibles/affaires-sensibles-du-mardi-26-novembre-2024-9500931>
- [45] <https://www.anco.pro/blog/igh-securite-incendie/>
- [46] <https://www.securitas.fr/blog-securite/reglementation-igh/>
- [47] <https://www.reseau-def.com/votre-secteur/igh/>
- [48] <https://formation.lefebvre-dalloz.fr/actualite/erp-et-igh-connaître-les-obligations-en-matière-de-sécurité-et-d'incendie>
- [49] <https://www.cerib.com/igh-securite-incendie/>

---

# Chapitre V

## Faisabilité de la réalisation des IGH en Algérie

---

### Résumé du cinquième chapitre :

Ce cinquième et dernier chapitre porte sur l'analyse des conditions de réalisation d'immeubles de grande hauteur en Algérie. Il identifie les principaux obstacles techniques, réglementaires et économiques à surmonter : insuffisance de normes spécifiques aux IGH, manque d'expertise locale, défis logistiques et urbains. Cependant, le chapitre souligne également les opportunités de développement, notamment dans certaines grandes villes, et propose des pistes pour une adaptation progressive du cadre réglementaire et technique afin de permettre l'émergence de tels projets dans un avenir proche.

## Chapitre V

## Faisabilité de la réalisation des IGH en Algérie

### ***I. INTRODUCTION***

Les immeubles de grande hauteur incarnent l'un des symboles les plus emblématiques de l'urbanisme moderne, reflétant à la fois une expertise technique poussée et une réponse aux enjeux de densification urbaine. Alors que de nombreuses métropoles mondiales ont fait des gratte-ciels des éléments centraux de leur expansion, l'Algérie, malgré un potentiel urbain indéniable et l'émergence de projets ambitieux dans certaines de ses grandes villes, reste encore en retrait de cette tendance. La construction de tels ouvrages dans le contexte algérien se confronte en effet à une série de défis complexes, dépassant la simple dimension verticale pour englober des problématiques techniques, réglementaires, logistiques et humaines. Ces défis concernent aussi bien les phases de conception et de réalisation que les impératifs de sécurité, de résistance aux risques naturels, et de gestion durable [1], [2].

Ce cinquième et dernier chapitre de notre travail chapitre vise à présenter les principaux problèmes techniques freinant la construction de gratte-ciel en Algérie, puis à identifier les défis à relever pour permettre, à moyen terme, leur intégration réussie dans le tissu urbain algérien.

### ***II. PROBLEMES TECHNIQUES RENCONTRES EN ALGERIE***

La mise en œuvre de projets de grande hauteur en Algérie est aujourd'hui confrontée à un certain nombre de problèmes techniques structurels, qui freinent leur développement à grande échelle. Ces limitations concernent aussi bien le cadre réglementaire que les moyens techniques, la maîtrise des technologies de pointe, et les particularités du contexte sismique national. Leur analyse est indispensable pour évaluer objectivement la faisabilité de la construction de gratte-ciel dans le pays [2], [3].

#### ***II.1. Un cadre réglementaire encore incomplet***

Le premier frein à la réalisation d'immeubles de grande hauteur en Algérie réside dans l'absence d'un cadre réglementaire spécifique aux IGH. Bien que des textes comme les règles parasismiques Algériennes RPA 2024 [5], ou le règlement Neige et Vent RNV 2013[6] définissent des exigences pour les actions sismiques et climatiques, ils ne couvrent pas de

manière détaillée la conception de ce type de structures. Par ailleurs, nous constatons un manque de normes et de règles concernant les points suivants :

- Les normes de sécurité incendie propres aux IGH,
- La gestion de l'évacuation verticale et des ascenseurs en situation d'urgence,
- Ou encore les exigences en matière de ventilation, désenfumage, et résistance au feu sur plusieurs dizaines d'étages.

L'absence de références nationales adaptées conduit ainsi à une adaptation partielle et parfois imprécise des normes internationales (Eurocodes [7], NFPA (organisme spécialisé dans l'élaboré de normes de sécurité incendie) [8], IBC (Code International du Bâtiment largement utilisé aux États-Unis) [9]) rendant difficile la validation réglementaire de projets de grande hauteur par les organismes de contrôle [4], [5].

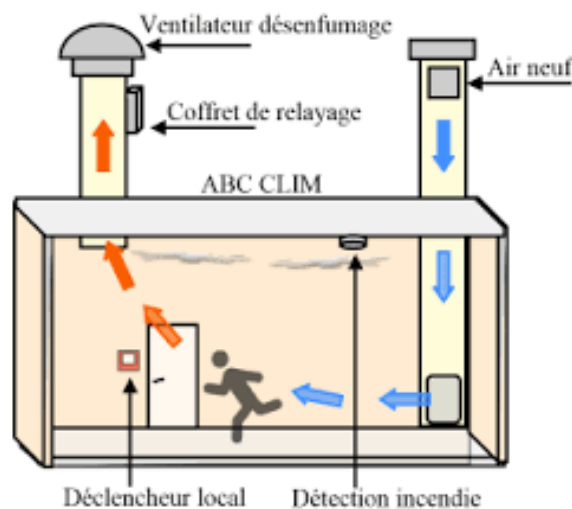


Figure V. 1 : Système de désenfumage [10].



Figure V. 2 : Exutoire de désenfumage [11].

## II.2. Une maîtrise technologique encore limitée

La construction d'IGH requiert l'utilisation de techniques avancées, notamment :

- Des bétons à haute performance (BHP) pour les noyaux rigides, les poteaux et les planchers,
- Des systèmes de coffrage de type glissant (ou grim pant, Figure V.3) pour assurer une cadence d'élévation rapide,
- Des systèmes de contreventement complexes (tubulaires, hybrides, exosquelettes, etc.),
- Des modélisations tridimensionnelles de l'ouvrage intégrant le vent, le séisme, et les effets dynamiques [12], [13].

Actuellement, la majorité des entreprises de construction nationales ne disposent pas de l'expertise ni des moyens matériels adaptés à ce type de réalisation, obligeant les maîtres d'ouvrage à faire appel à des compétences étrangères, ce qui augmente les coûts et allonge les délais.



Figure V.3 : Coffrage glissant [14].

### ***II.3. Des moyens logistiques inadaptés aux très grandes hauteurs***

Les chantiers de gratte-ciels nécessitent une logistique immense et un matériel hautement spécialisé, comme :

- Les grues à grande portée capables d'atteindre 100 mètres et plus,
- Les pompes à béton verticales à très haute pression,
- Des systèmes de levage rapides et sécurisés,
- Des plateformes techniques pour le stockage et la sécurité.

La majorité des parcs matériels nationaux étant dimensionnés pour des constructions basses ou intermédiaires, ces équipements doivent être importés ou loués, ce qui pose des contraintes financières et organisationnelles importantes [15].



Figure V. 4 : Plateforme de stockage [16].

#### ***II.4. Des contraintes géotechniques et sismiques importantes***

Le contexte sismique Algérien, notamment dans les zones urbaines comme Alger, Oran ou Béjaïa, classées en zones II et III selon les règles RPA 2024 [5], impose des exigences élevées en matière de :

- Fondations profondes (pieux forés, barrettes),
- Stabilité sol-structure en cas de liquéfaction ou de mouvements différentiels,
- Dimensionnement des noyaux et contreventements face aux accélérations sismiques.

Ces contraintes géotechniques, combinées à la rareté des études de sol de haute précision, rendent le dimensionnement complexe et coûteux, avec une marge d'incertitude plus élevée que dans des contextes moins actifs d'un point de vue sismique [5], [17].

#### ***II.5. Un manque de retour d'expérience local***

Enfin, l'un des problèmes majeurs est l'absence de projets de référence achevés dans le domaine des gratte-ciels en Algérie. Ce manque de retour d'expérience limite :

- 1) La formation des ingénieurs et techniciens à ce type d'ouvrages,
- 2) Le développement de normes techniques internes spécifiques à la grande hauteur,
- 3) Et la capitalisation sur les erreurs et les réussites, pourtant essentielle pour améliorer les futures réalisations [18].

### ***III. DEFIS TECHNIQUES A RELEVER POUR LA CONSTRUCTION DES IGH EN ALGERIE***

Malgré le potentiel urbain croissant et les ambitions affichées en matière de développement vertical, la réalisation d'immeubles de grande hauteur en Algérie demeure conditionnée à la levée de plusieurs obstacles techniques majeurs. La réussite de tels projets

implique la mise en place de dispositifs réglementaires adaptés, le renforcement des capacités locales, la qualification des ressources humaines, ainsi qu'une planification rigoureuse de l'exploitation à long terme.

### ***III.1. Élaboration d'une réglementation spécifique aux IGH***

L'un des défis prioritaires réside dans la nécessité d'établir un cadre normatif national propre aux bâtiments de grande hauteur. Les textes existants, bien que solides pour les structures conventionnelles (RPA, RNV), ne traitent pas de manière spécifique les exigences propres aux IGH. Il devient donc indispensable de :

- Définir des normes précises pour la structure, la sécurité incendie, l'évacuation verticale, les systèmes de désenfumage et les ascenseurs de secours ;
- Introduire des prescriptions sur les analyses dynamiques non linéaires, les essais en soufflerie, et les systèmes de contrôle actifs ou passifs ;
- Mettre en œuvre des formations continues à destination des ingénieurs, architectes et contrôleurs techniques, afin d'assurer l'application cohérente de ces futures normes [17].

### ***III.2. Renforcement des capacités techniques nationales***

La construction de structures excédant les 30 ou 40 étages nécessite un niveau élevé de technicité, de savoir-faire et de logistique. Or, les moyens matériels et technologiques disponibles en Algérie restent, majoritairement dimensionnés pour des ouvrages de hauteur modérée. Pour pouvoir se mettre au niveau adéquat, il est impératif de:

- Moderniser les équipements de chantier, tels que les grues à grande hauteur, les pompes à béton haute pression, et les systèmes de levage automatisés;
- Développer la maîtrise des bétons à haute performance, des aciers à haute limite élastique, et les systèmes de coffrages glissants;
- Favoriser les partenariats avec des entreprises étrangères spécialisées afin de garantir un transfert de technologie sur les premiers projets pilotes [17], [19].

### ***III.3. Valorisation des compétences humaines spécialisées***

La réussite d'un projet d'IGH repose sur la disponibilité de ressources humaines hautement qualifiées dans des domaines spécifiques tels que la modélisation des structures, la dynamique des structures, la sécurité incendie, la gestion des flux verticaux ou la maintenance en hauteur, les prospections géotechniques à grande profondeur. Il est nécessaire d'investir dans :

- La formation post-universitaire d'ingénieurs et techniciens,

- L'envoi de professionnels de la construction en stages de perfectionnement sur des chantiers internationaux d'envergure,
- Le développement d'une recherche appliquée nationale orientée vers les problématiques propres aux bâtiments de grande hauteur [18].

#### ***III.4. Modernisation des bureaux d'études et du contrôle technique***

Les IGH exigent des outils de modélisation avancés (analyses modales, simulations CFD, calculs non linéaires), ainsi qu'un suivi rigoureux à toutes les phases du projet. Pour répondre à ces exigences :

- Les bureaux d'études doivent être dotés de logiciels spécialisés et performant dans plusieurs domaines (exemples : ETABS, MIDAS, ANSYS ou Tekla Structures, etc.),
- Les organismes de contrôle doivent disposer de procédures spécifiques aux IGH, adaptées à leur échelle, à leur complexité et aux risques associés [19].

#### ***III.5. Anticipation de l'exploitation et de la maintenance***

Un immeuble de grande hauteur est une infrastructure qui nécessite une gestion technique continue. L'un des défis est donc d'intégrer, dès la phase de conception, un plan de maintenance à long terme, incluant :

- L'entretien régulier des façades, des ascenseurs, des systèmes de sécurité et des installations techniques ;
- La formation de techniciens spécialisés en gestion des IGH ;
- L'élaboration d'une réglementation sur l'exploitation et la maintenance, aujourd'hui absente du corpus normatif algérien.

En conclusion la faisabilité des immeubles de grande hauteur en Algérie reste un objectif ambitieux, freiné par des défis techniques, réglementaires et économiques. La maîtrise technologique, l'adaptation aux risques naturels et la modernisation des normes de construction sont essentielles pour permettre l'émergence de tels projets.

Une vision stratégique, associée à un effort soutenu en innovation et en formation, s'impose pour surmonter ces contraintes et assurer un développement durable des gratte-ciels en Algérie.

### ***IV. CONCLUSION***

La construction de gratte-ciels en Algérie reste limitée en raison de contraintes techniques, réglementaires et sismiques. Toutefois, le pays dispose d'un fort potentiel à condition d'adapter ses normes, renforcer ses compétences locales et moderniser ses outils de

conception. L'émergence de projets ambitieux témoigne d'une volonté de changement. Une planification rigoureuse et une vision stratégique sont nécessaires. Ainsi, la faisabilité des IGH en Algérie dépend d'une volonté d'innovation et de réforme.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/4659>
- [2] Alger et la tentation des gratte-ciel : un rêve moderne ou une | Vitaminedz
- [3] La réglementation des immeubles de grande hauteur (IGH)
- [4] Les Techniques De Construction Et Les Mesures De Sécurité Dans La Conception Des Igh En Algérie
- [5] RPA-2024\_2.pdf
- [6] [https://www.cnerib.edu.dz/images/pdf/dtr\\_guides/DTR\\_C\\_2-47\\_2013\\_extrait.pdf](https://www.cnerib.edu.dz/images/pdf/dtr_guides/DTR_C_2-47_2013_extrait.pdf)
- [7] Codes\_europeens\_gtfrd.pdf
- [8] gov.law.nfpa.25.2011.pdf
- [9] IBC-2018 ICC International Building Code.pdf
- [10] <https://boopursal.com/detail-produit/securite/systeme-desenfumage/15-desenfumage>
- [11] <https://www.batiweb.com/actualites/publi-redactionnels/ecofeu-premium-alu-160-pn-l-exutoire-de-fumee-a-rupture-de-pont-thermique-pour-toiture-plate-41251>
- [12] Calaméo - Expose Les Gratte Ciel
- [13] Construction Immeubles de Grande Hauteur (IGH) chez Enirop
- [14] <https://www.hellopro.fr/fa/coffrage-glissant-57458.html>
- [15] La Gestion Des Parcs Nationaux De L'algerie
- [16] <https://www.provost.fr/fr/liste-solutions/16-plateforme>
- [17] Arrêté du 30 décembre 2011 portant règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique - Légifrance
- [18] Expériences et compétences au sein d'une grande entreprise : Comment harmoniser les pratiques sociales des activités de formation dans un contexte de mobilité interne | Cairn.info
- [19] Les Techniques De Construction Et Les Mesures De Sécurité Dans La Conception Des Igh En Algérie

---

## **Conclusion générale**

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire s'est attaché à analyser de manière approfondie les enjeux techniques, réglementaires et contextuels liés à la conception des Immeubles de Grande Hauteur (IGH), en mettant en perspective leur éventuelle faisabilité dans le contexte national. À travers l'étude des éléments porteurs, des systèmes de contreventement et du comportement de ces structures face aux actions extrêmes (vent, séisme, incendie), il a été démontré que la conception de gratte-ciel repose sur une synergie complexe entre ingénierie avancée, choix approprié des matériaux, et respect rigoureux des normes de sécurité particulièrement eux liés aux incendies.

Les enseignements tirés de la pratique internationale mettent en évidence l'importance cruciale d'une planification intégrée et multidisciplinaire, où chaque décision technique influe directement sur la performance globale de l'ouvrage. La sécurité structurale, la résistance aux aléas naturels, l'efficacité énergétique, mais également la fonctionnalité des systèmes (ascenseurs, compartimentage coupe-feu, évacuation, etc.) doivent être envisagés dans une logique systémique et cohérente.

En ce qui concerne l'Algérie, l'analyse a révélé plusieurs freins à la réalisation de tels projets, notamment un cadre réglementaire encore peu adapté aux exigences des très hauts bâtiments, un manque d'expertise spécialisée dans ce domaine, ainsi que des contraintes économiques et logistiques significatives. Toutefois, ces obstacles ne sont pas insurmontables. Ils peuvent être levés progressivement à travers une actualisation des textes réglementaires, une montée en compétence des bureaux d'études, ainsi qu'un transfert technologique soutenu par des partenariats internationaux.

En définitive, la faisabilité des immeubles de grande hauteur en Algérie demeure conditionnée par une volonté stratégique claire, un encadrement normatif adéquat et une mobilisation des ressources techniques et humaines. Ce mémoire entend ainsi constituer une base de réflexion pour les acteurs du secteur du bâtiment et des travaux publics, en vue de poser les jalons d'un urbanisme vertical maîtrisé, adapté aux spécificités locales et inscrit dans une dynamique de développement durable.