

**Structure en poteaux-poutres préfabriqués, solution à la crise du logement**

Contenu	Page
1. Crise mondiale du logement, état des lieux	2
2. La cause profonde de la crise	3
3. Les conditions pour une méthode de construction industrielle	3
3.1 Simplicité	3
3.2 Le matériau qu'il faut à l'endroit qu'il faut	4
3.2.1 La structure en poteaux/poutres	4
3.2.2 Connexions	4
3.2.3 Murs	4
3.3 Pourquoi l'ossature en béton coulé sur site ne convient pas	5
3.3.1 Travaux en extérieur	5
3.3.2 Opérations en séquences successives	5
3.3.3 Une méthode profondément manuelle	6
3.3.4 Connexions semi-rigides	6
3.3.5 Illusion de structures monolithiques : joints froids	7
3.4 Conclusion	8
4. Connexion dans une structure poteaux-poutres préfabriqués	8
4.1 Un vœu resté pieu trop longtemps	8
4.2 La problématique	9
4.3 L'idée qui change la donne	9
4.4 Conséquence structurelle	12
4.4.1 La connexion acquière une personnalité structurelle	12
4.4.2 La personnalité structurelle conduit à une connexion à moment résistant	12
4.5 Conséquence industrielle : Fabrication centralisée	13
5. Avantages d'une structure en poteaux-poutres préfabriqués	14
5.1 Avantages communs aux productions industrielles	14
5.2 Avantages spécifiques à la méthode Precast-First	14
5.2.1 Stabilité des ouvrages	14
5.2.2 Simplicité de fabrication	14
5.2.3 Simplicité d'assemblage	15
5.2.4 Niveau d'investissement de départ	15
5.2.5 Démarche durable	15
5.2.6 Sans Echafaudage	15
5.2.7 Connecteur en béton préfabriqué	15
5.2.8 Structure vs architecture	15
6. Brevets délivrés	16

1. Crise mondiale du logement, état des lieux

UN-Habitat

« Environ 2,8 milliards de personnes dans le monde sont confrontées à des problèmes de logement, allant du sans-abrisme aux logements insalubres et inabordables. »

« Une étude récente d'Habitat pour l'Humanité International montre qu'un accès équitable à un logement décent pourrait réduire de 730 000 le nombre de décès évitables chaque année. »

730 000 par an représente 2 000 décès évitables par jour !

Etats-Unis

« Les États-Unis connaissent actuellement une pénurie de logements de 4 à 7 millions d'unités. »

« Près de 7 Américains sur 10 sont préoccupés par la hausse des prix du logement. »

« Nous sommes confrontés à un déficit massif de logements. »

« Même si la construction doublait immédiatement, ce qui est peu probable, il nous faudrait encore 5 à 10 ans pour satisfaire la demande actuelle. »

Inde

« On estime que l'Inde connaîtra une pénurie cumulée de logements abordables de 31,2 millions d'unités d'ici 2023, pour un marché potentiel de 67 billions de roupies (environ 800 milliards de dollars) »

France

« Près de 15 millions de personnes sont touchées par la crise du logement (risques sanitaires, risque d'expulsion, inconfort ou perturbation de leur environnement quotidien et de leur vie familiale). »

Nigeria

« Le Nigeria est confronté à une grave crise du logement, avec un déficit de plus de 17 millions d'unités qui devrait s'aggraver en raison de l'urbanisation rapide, nécessitant 700 000 nouveaux logements par an. »

Royaume-Uni

« 8,5 millions de personnes n'ont pas accès au logement dont elles ont besoin. Parmi elles, deux millions d'enfants vivent dans des logements surpeuplés, inabordables ou inadaptés. »

Crise du logement et baisse du taux de natalité

« Le taux de natalité américain a chuté à un niveau historiquement bas en 2024, après une baisse continue depuis une vingtaine d'années. La flambée des prix du logement est largement considérée comme un facteur majeur. »



2. La cause profonde de la crise

Les faits :

Fait n° 1 : La crise du logement est sévère, mondiale et s'aggrave chaque jour. Pire, aucune perspective de solution n'est en vue.

Fait n° 2. L'habitation constitue le support physique du logement. Les méthodes de construction sont donc un facteur fondamental et de la crise et de la solution.

Fait n° 3. Les méthodes de construction actuelles n'ont pas permis prévenir la crise. Elles ne peuvent pas l'arrêter non plus.

Fait n° 4. Le caractère artisanal des méthodes de construction actuelles est la cause profonde de la crise. Le secteur de la construction n'a pas encore fait sa révolution industrielle.

Fait n° 5 : La solution à la crise passera par une construction à caractère industriel.

3. Conditions pour une méthode de construction industrielle

La principale cause de la crise étant le caractère artisanal des méthodes de construction, la solution passe nécessairement par l'industrialisation de la construction.

Deux exigences : simplicité et utilisation appropriée des matériaux de construction.

3.1 Simplicité

L'industrialisation fait notamment référence à :

- . Une production mécanisée, qui est justifiée seulement si la production porte sur un grand nombre d'unités identiques.
- . Une automatisation, qui est justifiée seulement si la production porte sur des unités de forme suffisamment simple.
- . Une production de masse, qui est la résultante des 2 caractéristiques précédentes, lorsqu'on est sur un secteur où le niveau de la demande permet de réaliser des économies d'échelle.

Plus les unités à produire sont simples, plus l'industrialisation est efficace.

Par conséquent, la première étape consiste à identifier la technique de construction qui permet de décomposer le bâtiment en des éléments le plus simples possible, avec des méthodes d'assemblage appropriées.

Il y a deux principaux types de structures :

L'ossature (structure en poteaux – poutres) : Elle reprend toutes les charges qui s'appliquent sur le bâtiment, et rien d'autre.

Les murs-cloisons la complètent en délimitant les espaces et en protégeant les occupants, et rien d'autre.

Les murs porteurs : Ils jouent les deux rôles simultanément : Reprendre toutes les charges, délimiter les espaces et protéger les occupants. Ce cumul de fonction lui fait perdre en simplicité. Il y a combinaison des aspects structuraux et des aspects architecturaux.

De plus, les murs porteurs sont limités en nombre d'étages. Le logement urbain, en particulier celui destiné à résoudre la grave crise actuelle, ne devrait pas être soumis à de telles limitations.

La production hors site de murs porteurs en béton et en bois est déjà une réalité depuis longtemps. Mais il n'en a pas résulté un niveau d'industrialisation de la construction suffisant pour stopper la crise actuelle du logement.

Conclusion : La structure en poteaux-poutres (ossature) est le plus approprié pour une construction à caractère industriel.

3.2 Le matériel qu'il faut à l'endroit qu'il faut

3.2.1 L'ossature

Le béton est sans égal pour le transfert de charges dans les structures souterraines et de surface. Qui peut le plus peut le moins, son utilisation peut aisément être étendue à la suprastructure : poteaux et poutres, dalles et escaliers

3.2.2 Connexions

Pour les bâtiments simples, les contraintes sur les assemblages sont modestes. C'est pourquoi le bois utilise des assemblages en bois, le béton des assemblages en béton et l'acier des assemblages en acier.

Cependant, la plupart des constructions en bois optent judicieusement pour des assemblages en acier, pour des immeubles d grande hauteur. Par exemple :

- . Ascent, États-Unis, immeuble d'appartements hybride de 25 étages.
- . Mjostarnet, Norvège, immeuble commercial de grande hauteur en bois de 18 étages.
- . Bullitt Center, aux États-Unis, est un immeuble commercial de cinq étages.

Cependant, la construction en béton n'a pas, de la même manière, adopté le matériau de joint approprié pour les bâtiments de grande hauteur.

Il n'existe aucune alternative viable à l'acier pour créer des liaisons à moment résistant dans les joints, quel que soit le matériau utilisé ailleurs : bois, béton, acier.

Le béton est le matériau de construction privilégié pour toutes les fondations, indépendamment du matériau utilisé pour la structure hors sol. De même, l'acier devrait être privilégié pour toutes les connexions, indépendamment du matériau de construction utilisé ailleurs dans le bâtiment.

3.2.3 Murs

Les murs représentent l'élément de construction le plus important en termes de volume et de poids. Ils doivent être construits à l'aide de matériaux disponibles localement : briques, bois, blocs de ciment, etc.

À ce stade, la meilleure option pour la construction industrialisée est la structure en poteaux-poutres, avec des connexions en acier et des murs construits avec des matériaux les plus disponibles localement : briques, blocs-ciment, Façades en Ossature Bois, etc.

3.3 Pourquoi l'ossature en béton coulé en place ne convient pas

La construction en béton coulé en place a été écartée pour plusieurs raisons :

3.3.1 Travaux en extérieur

Le béton coulé en place est réalisé sur le chantier, donc en extérieur. Les températures peuvent être suffisamment basses ou suffisamment élevées pour rendre l'exécution des travaux difficile, voire impossible. La qualité des travaux peut en être affectée également, dans une mesure difficile à évaluer.

En revanche, la fabrication hors site est réalisée dans un environnement contrôlé, ce qui a un impact positif sur la qualité et la continuité des opérations.

3.3.2 Opération en séquences successives

Prenons l'exemple d'un agriculteur qui entreprend de semer cinq champs de maïs.

Il a deux options.

Option 1 : Culture séquentielle : semer un champ après l'autre, en série.

1° Il sème le premier champ, puis attend la récolte. 2° Il sème le deuxième champ avec les graines récoltées dans le premier, puis attend la deuxième récolte.

3° Et ainsi de suite, jusqu'au cinquième champ.

Option 2 : Culture simultanée : plantation des 5 champs en parallèle.

Collecter suffisamment de graines pour semer les cinq champs en même temps.

L'analogie s'applique à la construction. Un entrepreneur souhaite construire un immeuble de cinq niveaux.

Option 1 : Construction séquentielle : construction étage par étage, en série.

1° Il construit la poutre de sol : ferrailage, coffrage, bétonnage, vibrage, décoffrage ; cure pendant 28 jours.

2° Il construit les poteaux du rez-de-chaussée : Même chose que précédemment.

3° Et ainsi de suite.

Ces étapes sont répétées pour chaque étage. Au total, il y aura $5 \times 4 = 20$ étapes, séparées par une période de cure. La durée de cure est théoriquement de 28 jours. Mais l'étape suivante est généralement entamée plus tôt, surtout s'il y a utilisation d'accélérateurs de prise.

Option 2 : Préfabrication de tous les éléments en usine.

L'entrepreneur achète tous les éléments structurels nécessaires à l'ensemble du bâtiment en usine. Il procède immédiatement à l'assemblage sans interruption jusqu'à la fin du projet.

Ces séquences d'opérations expliquent à elles seules l'énorme différence de temps d'exécution entre une méthode de construction traditionnelle (béton coulé en place) et une méthode de préfabrication.

3.3.3 Une méthode profondément manuelle

Prenons l'exemple d'un immeuble de 5 étages et 10 appartements. Il compte environ 200 colonnes identiques.

En béton coulé en place, chacune de ces 200 colonnes est façonnée à la main comme une pièce unique. Cela comprend la réalisation du ferrailage, la mise en place du coffrage, le coulage et le vibrage du béton, le décoffrage, ainsi que la cure.

Et cela 200 fois !

Si, dans un petit centre urbain, 10 immeubles similaires sont en construction, cela signifie que 2 000 colonnes seront fabriquées à la main, artisanalement, ainsi qu'environ 1 000 poutres de 5 m, 600 de 4,5 m, 400 de 4 m, etc.

En revanche, avec la construction en poteaux - poutres préfabriqués, on utilise quelques moules métalliques, infiniment réutilisables, réglés à la bonne dimension une fois pour toutes. On peut ainsi produire des éléments similaires, de meilleure qualité, plus rapidement, plus facilement, avec une plus grande précision, avec un rythme de production constant, etc.

3.3.4 Connexions semi-rigides

Les bâtiments doivent résister à deux principaux types de charges : les charges verticales et les charges horizontales.

Les charges verticales sont bien connues et relativement faciles à gérer. Les charges horizontales, en revanche, sont mal connues et imprévisibles. Elles représentent un risque croissant pour les bâtiments à mesure que leur hauteur augmente.

Tous les éléments structuraux sont concernés par les charges horizontales, mais les joints sont en première ligne !

Étonnamment, les joints ne sont pas spécifiquement conçus pour relever ces défis dans la construction en béton coulé sur site. Ce sont des intersections entre poteaux et poutres, dont ils héritent simplement des caractéristiques.

Il en résulte une grande vulnérabilité de l'ensemble de la structure aux charges horizontales, notamment en cas de séisme.

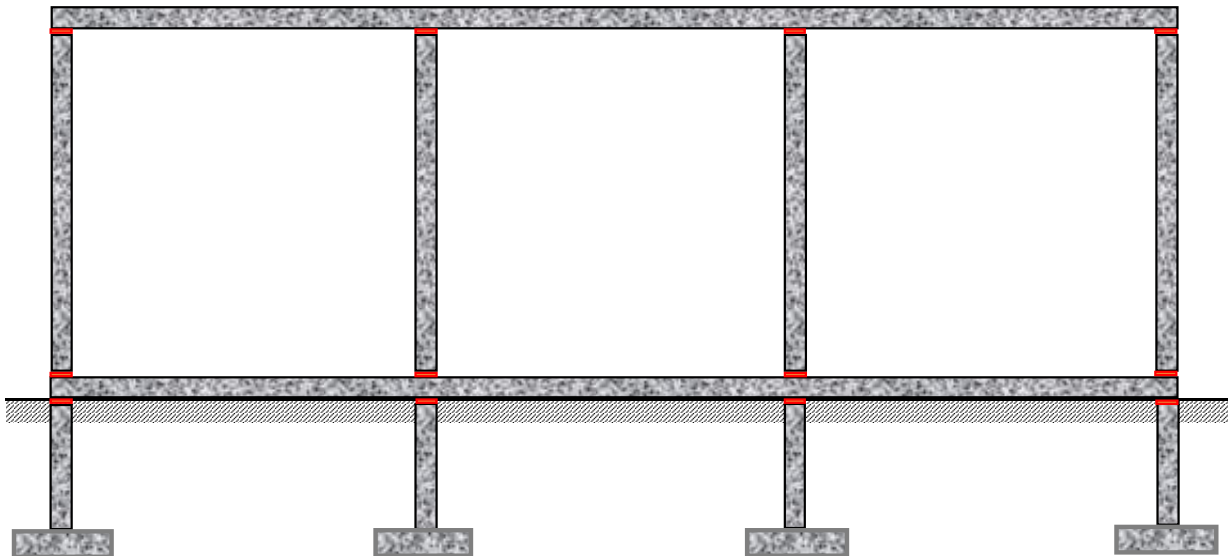


<https://www.researchgate.net/publication/245378123>

La solution palliative contre les charges horizontales consiste à utiliser des murs de refend. Ils sont spécialement conçus pour jouer le rôle que des joints de béton bien conçus auraient dû jouer : résister aux charges horizontales.

3.3.5 Illusion des structures monolithiques : joints froids

L'un des points faibles de la construction en béton coulé en place réside dans les « joints froids », notamment en haut et en bas poteaux. Car il est impossible de couler la totalité du béton simultanément. L'adhérence entre les lots de béton non vibrés ensemble est faible.



Joints froids au sommet et au pied des poteaux

3.4 Conclusion

La solution à la crise actuelle mondiale du logement passera par une méthode de construction à caractère industrielle.

Après élimination successive des autres systèmes constructifs il est resté l'ossature en béton préfabriqué, avec des connexions en acier, et des murs en matériaux disponibles localement.

Systèmes constructifs éligibles à l'industrialisation

	Sur-site	Hors-site
Murs porteurs	Non	Non
Poteaux-poutres	Non	Oui

Systèmes constructifs disponibles

	Sur-site	Hors-site
Murs porteurs	Oui	Oui
Poteaux-poutres	Oui	Non

Il s'avère que le seul système constructif éligible pour l'industrialisation de la construction n'est pas disponible. Il faut donc l'inventer.

Les poteaux et les poutres en eux-mêmes existent déjà. C'est leur connexion qu'il faut inventer.

4. Connexion dans une structure poteaux-poutres préfabriqués

4.1 Un vœu resté pieu trop longtemps

La préfabrication des poteaux et des poutres, nécessite une méthode de connexion performante.

La littérature de spécialité montre une floraison de telles méthodes jusque dans les années 90. Elles se sont faites de plus en plus rares, mais les recherches continuent jusqu'aujourd'hui.

En 1987, la Precast/Prestressed Concrete Institute a financé une évaluation des méthodes de connexions poteaux-poutres existantes à l'époque.

https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/1987/March-April/Moment_Resistant_Connections_and_Simple_Connections.aspx

Voir spécialement les pages 5 et 6.

Il apparaît que si le système constructif poteaux-poutres en béton préfabriqué ne s'est pas développé, ce n'est pas par manque d'utilité, mais par manque d'une méthode de connexion performante.

4.2 La problématique

Lorsqu'on envisage connecter des poteaux et des poutres préfabriqués, l'idée qui vient à l'esprit en premier est de prévoir des fers d'attente à l'extrémité de chaque élément. Ces fers d'attente entrent dans le joint et servent d'armatures à une connexion en béton armé. Mais il se pose un problème de disposition de ces fers d'attente, de nature rigide, dans un espace aussi réduit que la zone d'intersection des poteaux et des poutres.

Les fers d'attente orthogonaux sont les plus problématiques.

Cette difficulté est illustrée par le connecteur ci-dessous : l'impossibilité de croiser les fers d'attente à l'extrémité des 2 poutres. On préfère 2 connexions poutre-poutre en ligne, à 1 connexion poutre-poutre croisées.

Ce connecteur illustre parfaitement que le vœu d'un connexion poteau-poutre préfabriqués ne s'est pas encore éteint (2019), mais qu'il n'est toujours que pieu.

« L'utilisation du béton préfabriqué est reconnue pour améliorer la productivité, le contrôle qualité et la rentabilité des structures en béton armé. L'assemblage est l'aspect le plus important de ces structures. La réalisation de joints dans la zone de liaison poutre-poteau engendre souvent des difficultés lors du montage.

Le déplacement de la liaison à une certaine distance du poteau vers la travée de la poutre constitue une solution alternative permettant de créer une liaison poutre-poutre. L'assemblage de cette liaison, composée de plusieurs joints, s'en trouve grandement facilité ».

MATEC Web of Conferences SCESCM 2018, 0 40 02 (2019)

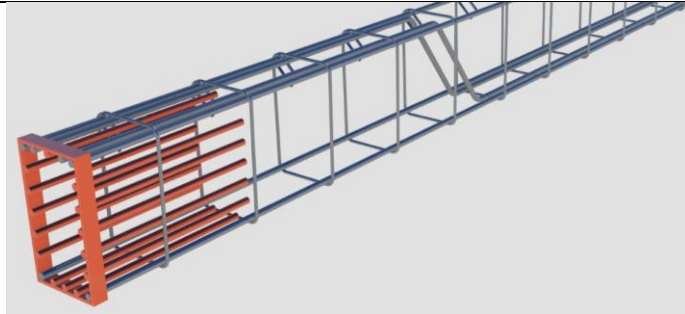


4.3 L'idée qui change la donne

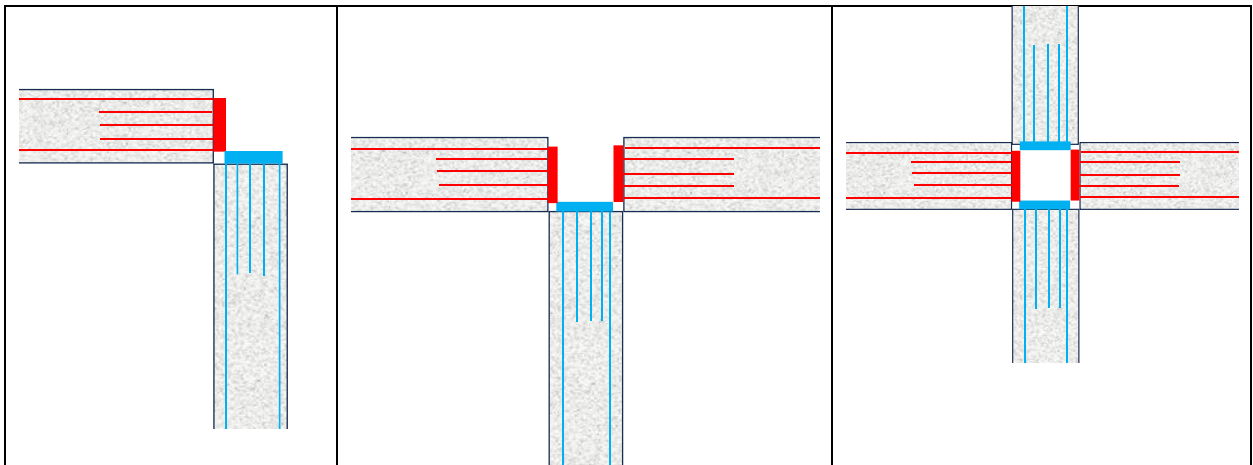
Puisque le problème est de croiser les nombreux fers d'attente dans la zone d'intersection des poteaux et des poutres, alors on ne les fait pas y entrer dans cette zone, tout simplement. Ils s'arrêtent à la périphérie de la zone, et sont connectés par soudure, à un cadre métallique de forte section : le cadre d'extrémité.



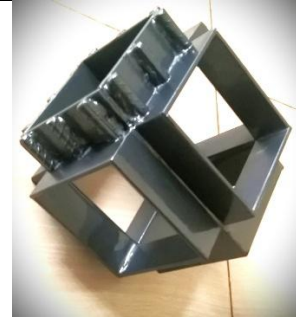
Pour que le cadre d'extrémité (en rouge) soit parfaitement solidaire avec l'élément auquel il est attaché, on lui ajoute des scellements droits, autant que de besoin (en rouge) !



Au moment de l'assemblage, les cadres d'extrémité de 2 éléments perpendiculaires se touchent et sont alors assemblés par soudure. Et ainsi de suite.



Dans un nœud central, lorsque les cadres de 2 colonnes et de 4 poutres ont été soudés, on arrive à un cube ayant comme arêtes leurs cadres d'extrémité, soudés deux à deux.



Si on « désossait » une connexion, on verrait les cadres d'extrémité, leurs scellements, et les armatures longitudinales comme ci-contre. Les paramètres des cadres d'extrémités et de leurs renforts ne sont pas tributaires du dimensionnement des poteaux et des poutres. Ainsi, la connexion acquière une « personnalité » structurelle.



Les scellements droits des cadres d'extrémité ont une longueur d'environ 30cm pour garantir un bon ancrage dans le béton.

Cette nouvelle méthode de connexion des poteaux et poutres préfabriqués entraîne 2 conséquences :

- 1° Une conséquence structurelle
- 2° Une conséquence industrielle.

4.4 Conséquences structurelles

4.4.1 La connexion acquière une « personnalité » structurelle

Habituellement, les paramètres d'une connexion sont la résultante « naturelle » des paramètres des poteaux et des poutres adjacents. Si on connaît les caractéristiques des poteaux et des poutres, on en déduit celles de la connexion. Le joint est juste l'intersection des poteaux et des poutres.

Avec la nouvelle méthode, la connexion acquière une personnalité structurelle.

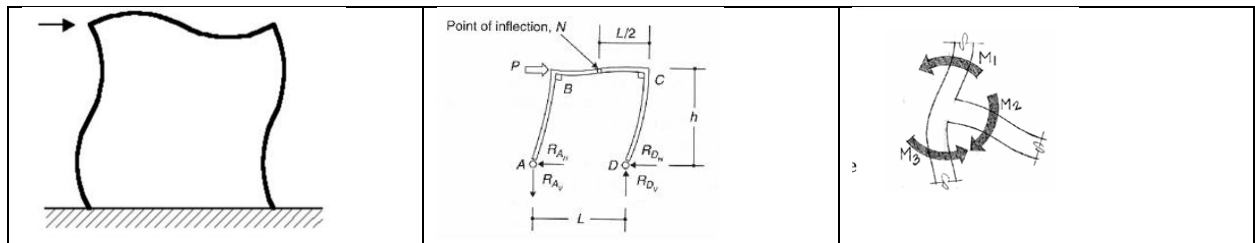
Les caractéristiques des cadres d'extrémité, des scellements, des différents triangulations internes, sont autant de curseurs qui permettent de varier les performances mécaniques de la connexion, d'une façon autonome par rapport aux poteaux et poutres adjacents.

Une composante naturelle est présente : les armatures résultant du dimensionnement des poteaux et des poutres. Mais il s'y ajoute une composante « locale », dont le rôle est prépondérant : cadres et scellements, ajustables à volonté.

Nous avons choisi d'utiliser des cadres d'extrémité d'une largeur de 2.5cm et d'une épaisseur de 6mm, ainsi que 12 scellements faits de fers à béton de 12mm, et d'une longueur de 30cm. Et nous obtenons une connexion à moment résistant satisfaisante pour les constructions courantes. Il est possible d'en faire plus, ou moins, grâce à cette personnalité structurelle de la connexion.

4.4.2 La personnalité structurelle conduit à une connexion à moment résistant

Grâce à la personnalité structurelle de la connexion, il est possible d'ajuster ses paramètres, jusqu'à arriver à une connexion rigide, donc à moment résistant, pour toutes les constructions. Une connexion à moment résistant est une connexion où les poteaux et poutres gardent un angle droit entre eux en toutes circonstances. Les poteaux et/ou les poutres peuvent fléchir, mais la connexion elle, maintient les angles à 90°.

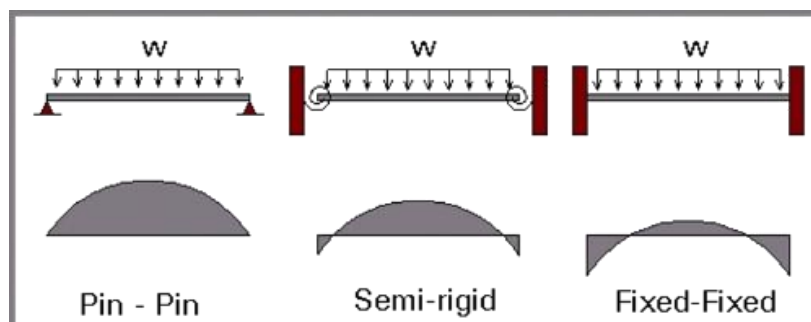


Diagrammes de moments fléchissant de 3 types de connexions d'une poutre :

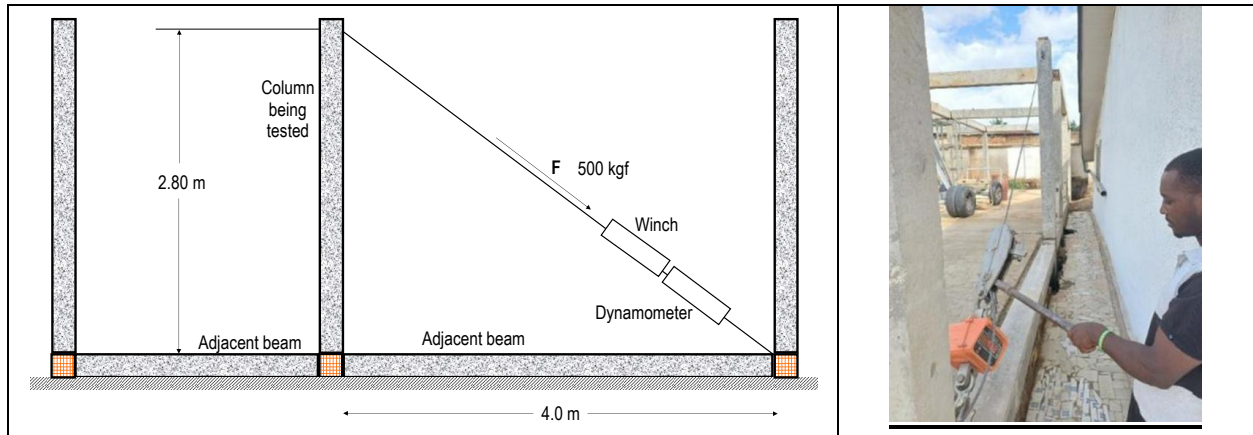
1° Connexion articulée : sur appuis simples.

2° Connexion semi-rigide : possède une certaine rigidité mais permette une légère rotation.

3° Connexion rigide : encastrement.



Une des preuves directes que les connexions sont à moment résistant est le test au renversement de colonnes sur les chantiers en cours. Nous les comparons aux arrêts de la Cour Suprême, qui ne sont susceptibles d'aucun recours.



4.5 Conséquence industrielle : Fabrication centralisée

La nouvelle méthode de connexion rend possible une fabrication hors-site. Ce qui permet d'envisager une fabrication centralisée des poteaux et des poutres, ainsi que des éléments de dalles et d'escaliers. En effet, avec des poteaux-poutres préfabriqués, il devient envisageable de construire des dalles et des escaliers en béton armé, sur modèle des planchers à solives et escaliers à limons.

Les dalles en poutrelles-hourdis se prêtent aussi à cette structure.



Les entrepreneurs s'approvisionnent en ces éléments auprès de fabricants qui tiennent un stock prêt à être assemblés.

A ce niveau il s'agit d'une production industrielle. Le faible poids unitaire ainsi que la simplicité de la forme des éléments facilitent la manutention, le stockage, le transport et l'assemblage.

5. Avantages d'une structure en poteaux-poutres préfabriqués

5.1 Avantages communs à la production industrielle

Production plus rapide, de meilleure qualité, au moindre coût unitaire, moins de déchets, etc.

5.2 Avantages spécifiques à la méthode de Precast-First

5.2.1 Stabilité des ouvrages

Le premier acquit de la méthode est une connexion à moment résistant, aussi résistant qu'on le souhaite car nous avons un curseur qui permet de l'ajuster à volonté.

De plus on peut appliquer facilement des contreventements dans le sens vertical et horizontal, sauf contraindre due à la présence éventuelle d'une porte.

Les deux éléments conduisent à des bâtiments dont la résistance est bien au-delà des standards habituels.

Dans ces conditions on peut envisager la construction d'immeubles de grande hauteur avec plus de sérénité.



Certains experts parlent de « *mettre les tremblements de terre en déroute* ». Les ouragans aussi pour les mêmes raisons, en plus des toits-dalles qui sont beaucoup plus simples à réaliser.

<https://www.youtube.com/watch?v=Bg4kSlgn67I&t=3s>

Min 0-2:45

5.2.2 Simplicité de fabrication

Tous les éléments sont de forme rectangulaire, ce qui facilite la fabrication dans des moules simples, la cure et le stockage de volumes importants sur un petit espace.

Poteaux et poutres pour le cadre, solives et planches pour les dalles, ainsi que limons, marches et contre-marches pour les escaliers. Tout est fait dans des moules simples, rectangulaires, constitués essentiellement de 2 panneaux métalliques.

Les éléments les plus lourds sont des poutres dont le poids est de moins d'une tonne. La manutention en est grandement facilitée.

5.2.2 Simplicité d'assemblage

La manutention peut se faire grâce à des grues manuelles pour de petites unités. Après avoir assemblé les poteaux, les poutres et les solives du rez-de-chaussée par exemple, la grue est démontée, hissée sur la dalle, et réassemblée. Elle reprend la même chose qu'au rez-de-chaussée : hisser les poteaux, les poutres et les solives du 1^{er} étage, etc. Pour de petites unités de production, des grues manuelles mobiles peuvent faire le travail jusqu'à 10 niveaux environ.



5.2.3 Niveau de l'investissement de départ

Le niveau d'investissement initial est modeste et consiste en grande partie en aires de bétonnage et de stockage.

5.2.4 Démarche durable

Notre système constructif complet avec ses 3 innovations, conduit à une réduction du béton utilisé de l'ordre de 50%, sans aucune concession sur la qualité des ouvrages, au contraire en l'améliorant. En effet :

- . Les dalles à solives en béton armé qui sont associées aux poteaux-poutres préfabriqués, utilisent 3 fois moins de béton qu'une dalle pleine classique équivalente.
- .. Les poutres à poteaux incorporés voient leur portée doubler, toutes choses égales par ailleurs. Les poutres sont moins massives, et consomment moins de béton.
- ... Le malaxage du béton en deux phases permet d'obtenir un béton de même résistance à la compression en utilisant 20% moins de ciment dans le béton.

5.2.5 Sans échafaudages

Les passerelles suspendues sont privilégiées par rapport aux échafaudages classiques.

5.2.6 Connecteur en béton préfabriqué

Option d'assemblage : Connecteur en béton préfabriqué.

Le connecteur est fortement armé et fabriqué en béton haute performance.

L'assemblage est encore plus rapide. Il convient aux structures jusqu'à 5 niveaux. Il suffit de soulever le poteau ou la poutre jusqu'au niveau du connecteur, puis serrer les écrous avec une visseuse !



5.2.7 Structure vs architecture

La construction industrialisée dont il est question ici concerne la structure et non l'architecture. Pour une même structure on peut avoir une infinité de conceptions architecturales.

La structure industrialisée elle-même ne signifie pas monotonie structurelle. Si la hauteur des colonnes varie peu, la longueur des poutres varie beaucoup. L'usine de fabrication tient en stock différentes longueurs des poutres, par incrément de 25 cm par exemple. Les autres longueurs sont alors fabriquées à la commande. Il n'y a donc à craindre ni monotonie structurelle, ni similitudes architecturales.



6. Brevets délivrés

1. United States Patents and Trademarks Office USPTO: US 10,494,807 B2.
2. European Patent Office EPO: EP 3310973.
3. Burundi Department of Industrial Property: BI 2015/321.
4. Euro-Asian Patent Office EAPO: EA 034805.
5. China National Intellectual Property Administration CNIPA: CN 4328807.
6. Indian Patent Office IPO: IN 471248.

