



Boumerdès 21 mai 2003 : Les enseignements d'une catastrophe...

Par Belkacem TABBOUCHE, Ingénieur & Larbi MERHOUM, architecte
Crédits illustrations : B. Tabbouche & L. Merhoum

Déjà trois ans sont passés depuis la catastrophe de Boumerdès, l'occasion nous est donnée, à travers cet article, de revenir sur les pathologies observées suite à cette tragédie. (NDLR)

A/ QU'EST-CE QU'UNE STRUCTURE PARASISMIQUE ?

Une structure parasismique est un édifice qui peut dissiper de l'énergie emmagasinée dans la structure due au mouvement de la terre (mouvement de l'assiette).

La dissipation de l'énergie se fait par une oscillation complète de la structure pendant et après la durée du séisme.

De ce fait, la structure doit préalablement posséder un pouvoir oscillatoire essentiellement lié à sa ductilité.

La ductilité de la structure repose sur les critères suivants :

1- Le béton de la structure, surtout des poteaux, doit avoir une compacité suffisante pour une meilleure adhérence avec les aciers.

2- L'interaction entre les poteaux et les poutres doit être étudiée de sorte à ce que le nœud se comporte comme une seule entité lors d'un séisme.

3- Le béton doit être suffisamment et correctement ferrailé pour augmenter l'élasticité des éléments verticaux.

4- La réponse sismique de la structure doit être impérativement connue au préalable afin de déterminer le mode de vibration pour palier une éventuelle surcharge additionnelle causée par l'irrégularité de la géométrie, ou une mauvaise distribution des inerties.

B/ COMMENT UNE STRUCTURE PARASISMIQUE DEVRAIT-ELLE SE DÉTÉRIORER ?

Dans l'esprit de la conception parasismique, le processus de détérioration doit être acheminé de manière à éviter un effondrement (collapse) rapide et immédiat, c'est-à-dire un cisaillement des éléments verticaux.

Pour cela, on prend les précautions suivantes :

1- Le nœud, qui est la partie reliant le poteau à la poutre, doit être la partie la plus rigide (solide) de la structure, parce qu'il représente la partie la plus déterminante dans la résistance de la structure face à une charge horizontale. La dégradation de la structure, si elle a lieu, doit impérativement commencer par la plastification des éléments horizontaux, ce qui n'empêchera pas la structure de garder son pouvoir oscillatoire et de dissiper aisément son énergie.

2- Les éléments verticaux (poteaux), doivent contenir une inertie supérieure à celle des poutres.

3- Les nœuds doivent essentiellement posséder un pouvoir de transmission de contrainte dans toutes les directions, y compris la torsion.

C/ LES PARAMETRES A PRENDRE EN COMPTE LORS D'UN CALCUL PARASISMIQUE ?

1- L'EFFET DU SITE

Le premier paramètre dont il faut tenir compte lors d'un calcul sismique est l'assiette du bâtiment. Pour cela, il est impératif de s'assurer que la couche du sol sur laquelle la bâtisse est fondée n'amplifie pas l'onde sismique.

A cet effet, l'ingénieur doit disposer d'une carte (banque de données), indiquant les zones ou microzones susceptibles de provoquer une amplification de l'onde sismique. Devant cette situation, il est appelé soit à procéder à une modélisation de la structure et du sol en même temps, soit à changer de site. Ces informations sont fournies par un laboratoire géosismique compétent dans le domaine et non pas par un laboratoire géotechnique.

2- LA GEOMETRIE

La géométrie de la structure joue un rôle très important dans la détermination du mode de vibration. Cependant, nous pouvons affirmer qu'une oscillation par

torsion est beaucoup plus grave qu'une translation.

A cet effet, l'ingénieur est souvent appelé à une modélisation spatiale de la structure, cette dernière ne pouvant se faire que sur ordinateur.

Le calcul des ouvrages parasismiques requiert une formation assez particulière. Elle doit comprendre la maîtrise des méthodes dynamiques (simulation sur ordinateur), les essais en laboratoire (tables vibrantes), et le traitement des données réelles (enregistrements).

C'est une formation à part entière qui associe expérimentation, simulation et observation de cas réels.

D/LES CAUSES D'EFFONDREMENT

1. DESTRUCTION DU NŒUD PAR MAUVAISE QUALITE DE BETON

La mauvaise qualité du béton est l'une des causes de destruction du nœud, dans ce cas, le poteau perce totalement la poutre et entraîne le collapse.



Fig I-1 Coopérative Boumerdès.

Le bout du poteau prend la forme conique, on en déduit que le poteau a percé la poutre (Figure I-1, I-2).



Fig I-2, destruction des nœuds de rez-de-chaussée, Zemmouri

La destruction du nœud, due à une mauvaise qualité du béton, est généralement observée dans l'autoconstruction et les ouvrages sociaux réalisés dans de mauvaises conditions. L'entrepreneur a recours à un sable de mauvaise qualité, (responsable n°1 dans la qualité du béton), un mauvais gravier, un faible dosage en ciment ou un excès d'eau de gâchage.



Fig 1-3 Zemmouri, rez-de-chaussée atteint, les autres étages épargnés en raison de la différence dans la qualité du béton



Fig 1-4 Destruction du nœud, le poteau est sorti du plancher, Coopérative Boumerdès

Parmi les causes de la destruction de nœuds due à une mauvaise qualité du béton, on note l'utilisation du gravier roulé qui entraîne le glissement des armatures. Ce cas a été observé dans les bâtiments de Réghaia, et la plupart des bâtiments privés (autoconstruction) à Zemmouri.



Fig 1-5 Empreintes du glissement des aciers à cause du gravier roulé

2. DESTRUCTION DU NŒUD PAR MAUVAIS FERRAILLAGE

Le mauvais ferrailage est un paramètre favorisant l'éclatement du nœud à l'origine de la destruction de nombreux bâtiments.

Il est à noter que le mauvais ferrailage n'exclut pas un ferrailage par excès. Ce cas a été observé dans les 1200 Logements Boumerdès, où la zone nodale est surferrillée favorisant ainsi le glissement des armatures entre elles et entraînant l'éclatement du nœud.



Fig II-1 Ferrailage excessif de la poutre



Fig II-2 Le poteau s'est détaché de la poutre



Fig II-3 Détachement du poteau dû à l'éclatement du nœud

On voit clairement que le poteau s'est complètement détaché du plancher, sans que le nœud se soit écrasé (Fig II-2).

3. MAUVAISE CONCEPTION

3-1 Glissement du nœud

Nous avons constaté que le nœud reliant la poutre au poteau censé être la partie la plus sensible, voire fondamentale dans la conception d'un ouvrage autostable antisismique, est complètement ignoré par tous les intervenants, y compris les ingénieurs.

Dans le calcul parasismique, l'ingénieur pose comme hypothèse de départ que le nœud soit très rigide et doit demeurer comme tel pendant et après le séisme. Tous ses calculs reposent donc sur ce postulat.

Pendant la réalisation, l'ingénieur doit

veiller à ce que le nœud soit réalisé conformément à sa simulation. Dans la réalité du chantier, c'est malheureusement la mise en œuvre du nœud qui est la partie la plus bâclée et donc, la plus vulnérable de la structure.

Parmi les causes d'affaiblissement du nœud rencontrées sur chantier, on peut citer :

3-1-1 Présence de dés à l'endroit du nœud

Dans la plupart des chantiers, les entrepreneurs s'arrangent, pour une raison ou pour une autre, pour placer des dés dans l'interface entre les poteaux et les poutres. Ces cubes, par définition, sont des petits poteaux de très faible inertie qui éclatent à la moindre secousse, faisant rentrer la structure en mécanisme complet.

Cette pratique devenue règle générale n'a jamais été proscrite par le contrôleur.



Fig III-1 Éclatement d'un dés, dont témoigne le coffrage encore présent. Boudouaou



Fig III-2 Effondrement d'un bâtiment causé par éclatement des dés

3-1-2 Perte d'adhérence

Dans certains cas, les planchers sont coulés plusieurs mois après le coulage des poteaux, ce qui affecte l'adhérence entre les deux parties. Il en résulte une absence de transmission de contraintes, ce qui entraîne "le mécanisme". Pendant le séisme, l'effort de cisaillement est repris uniquement par les aciers longitudinaux qui ne sont même pas conçus pour cette tâche.

Nous illustrons quelques cas où les poteaux se sont séparés du plancher en gardant une surface très lisse.



Fig III-4 Glissement du poteau par rapport à la poutre. (Présence d'une surface lisse)

Dans ce cas de figure, on peut imaginer un plancher très lourd, reposant sur des poteaux. L'ensemble étant simplement cousu avec quelques barres de fer.



Fig III-4 Déboîtement du poteau par rapport à la poutre. (Présence d'une surface lisse)

3-1-3 Malfaçons de la réalisation

Une pratique courante et dangereuse s'est répandue sur nos chantiers. Elle consiste à bourrer le nœud à l'aide de corps étrangers, et cela pour colmater des pertes de laitance dues au mauvais coffrage du nœud. Dans ce cas, le nœud n'existe plus. Le danger est alors réel.



Fig III-5 Arrachement du poteau de la poutre à cause des malfaçons

3-2 Effondrement par torsion

La structure autostable ne peut pas faire face à ce mode de vibration vu que le poteau présente une section très faible par rapport à l'inertie torsionnelle du plancher.

C'est pourquoi il est impératif de palier à cette faiblesse pendant la conception, par des voiles en quantité et dispositions appropriées.

Pendant notre investigation, nous avons remarqué que toutes les structures ayant subi une torsion ont cédé. Plusieurs causes

peuvent engendrer ce type de mouvement qu'on peut énumérer comme suit:

3-2-1 La géométrie

La forme géométrique irrégulière provoque une répartition des masses conduisant à une torsion. Le poteau qui se trouve en centre de torsion subit impérativement un écoulement et automatiquement une rupture, car la rigidité et la ductilité du béton vis-à-vis de la torsion est faible.



Fig III-6 Mode de collapse en éventail. (Mouvement de rotation)

Quand le nœud du poteau se détériore, il rentre en mécanisme et favorise encore plus la rotation du bâtiment, provoquant ainsi destruction des poteaux de rive et le collapse de la structure.



Fig III-7 Rupture du poteau se trouvant en centre de torsion

3-2-2 Torsion locale

Le désaxement de la poutre par rapport à l'axe du poteau peut engendrer une torsion par couple de moments entraînant une torsion locale, ce qui amènera le nœud à rentrer en "mécanisme".



Fig III-8 Torsion locale causée par désaxement



Fig III-9 Destruction du nœud à 45° causée par la torsion locale



Fig III-10 Immeuble "15" effondré par effet de torsion suite à la réplique du 27/05/03.

Cet immeuble aurait été épargné par un simple geste de conception, celui de centrer la poutre à l'axe du poteau

Cette anomalie de conception a été observée dans la tour "15" à Réghaia où la torsion locale était à l'origine de l'effondrement.

Il est à noter que les conséquences de la torsion ne sont pas imputables à la conception de l'architecte et ne doit pas limiter sa création architecturale. Par contre, c'est une donnée que l'ingénieur doit soigneusement prendre en charge lors de la conception de la structure du bâtiment.

3-2-3 Mauvaise distribution des inerties (masses)

Dans certains cas, des éléments très rigides sont disposés à l'extrémité de la structure, (une cage d'escalier, des portions de voiles, etc.), sans tenir compte du comportement global de cette dernière. Ces éléments créent un décalage entre le centre de gravité géométrique et le centre de masse conduisant à une torsion.

3-3 Effet du site

Nous avons remarqué, lors de notre investigation, que certaines microzones ont été plus affectées que d'autres. On y observe alors une sévérité spectaculaire du séisme. Ce phénomène est connu sous le nom "d'effet du site".

Il est clair que certaines couches du sol amplifient l'onde sismique et en augmentent l'amplitude. Ces couches du sol sont



généralement de nature argileuse très molle, des alluvions ou sables très lâches.

L'effet du site est particulièrement identifiable au niveau de l'oued à Boudouaou, où toute une rangée de constructions installées dans le lit de l'oued, a été sévèrement atteinte, alors qu'un peu plus loin, là où le sol change de nature, les constructions sont restées indemnes.

Normalement, ces zones identifiées et répertoriées doivent apparaître lors des plans d'aménagement urbain (PDAU, POS) comme zones inconstructibles.



Fig III-11 Effet du site

Dans cette figure, l'onde sismique a tellement été amplifiée du côté de l'oued, que le plancher entre les deux constructions s'est "déchiré". La partie de bâtisse ayant été ancrée dans le lit d'oued s'est complètement effondrée, alors que l'autre ancrée plus haut est restée indemne, ce qui explique le mouvement différentiel responsable du "déchirement" du plancher.

CONCLUSION et AXES DE REFLEXION

Il est difficile de considérer les dégâts occasionnés par le séisme dans leurs seuls aspects scientifique et technique tant les causes du drame du 21 mai 2003 sont multiples et enchevêtrées. Néanmoins, il y a lieu à notre sens d'entrevoir les axes de réflexion suivants :

SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE

Reconsidérer la rédaction du RPA pour la mettre en rapport avec les exigences de la réalité construite et à construire en impliquant les centres de recherche et les ingénieurs de production.

SUR LE PLAN DE LA FORMATION DE L'INGÉNIEUR

Penser un plan d'urgence pour une mise à niveau de l'ensemble des ingénieurs liés à la production (conception, contrôle) sur les paramètres de base d'une conception parasismique.

CONCERNANT LE ROLE DES ORGANISMES DE RECHERCHE

- Recentrer leurs intérêts sur une double réalité : celle du mode de production le plus économique, à savoir l'autostable, et celle de l'ingénieur appelé à le concevoir et le contrôler.

- Réunir les conditions matérielles pour leur permettre d'accomplir les missions qui les attendent (acquisition de logiciels, moyens de contrôle, etc.)

- Développer une politique de formation continue de l'ingénieur et favoriser une forme d'interactivité entre la réalité de la production et la recherche fondamentale (étude et suivi de cas réels et complexes...): le savoir génie sismique doit émaner des centres de recherche.

- Leurs donner l'autorité scientifique et technique pour l'habilitation des cabinets d'engineering en matière de conception et de contrôle des structures.

CONCERNANT LA RESTRUCTURATION DE L'ACTE DE BATIR

- Créer les conditions réglementaires favorables au développement d'un marché d'engineering structuré encadré scientifiquement et techniquement par les différents centres de recherche et administrativement par l'Etat.

- Revaloriser les honoraires dédiés à la conception et au suivi de la réalisation des ouvrages. Cette action motivera architectes et ingénieurs pour investir dans la recherche et l'amélioration de leurs outils de production, étant assurés d'un retour d'investissement.

- Replacer l'architecte dans sa relation naturelle avec l'ingénieur : une architecture de qualité ne peut se concevoir sans un engineering de qualité.

- Renforcer le rôle de l'Ordre des architectes et des autres organisations professionnelles représentatives pour une meilleure convergence des idées et des efforts.

- Accélérer la démocratisation de l'Ordre des architectes et parachever l'ensemble du dispositif réglementaire et juridique, tel que prévu par le décret 94/07, pour permettre l'amélioration du cadre d'exercice de la profession d'architecte et l'instauration irréversible de règles loyales de concurrence, seule voie pour garantir une prestation de qualité.

- Repenser fondamentalement la maîtrise d'ouvrage pour en faire un vrai métier qui nécessite une formation appropriée, pour en finir avec son actuel statut simplement administratif ou commercial.

- Faire observer un respect strict de la réglementation en vigueur.

- Faire obligation de résultat aussi bien qualitatif que quantitatif.

- Réfléchir sur une incitation par l'assurance sur les risques majeurs pour pousser les constructeurs privés, coopératives et promoteurs, à plus de rigueur et de transparence dans la gestion de leurs projets, et mettre aussi un frein à l'économie informelle. C'est ainsi qu'un projet qui offre toutes les garanties d'une réalisation conforme aux normes (contrat d'architecte, contrat d'ingénieur, contrat de suivi, marché d'entreprise) verra sa prime d'assurance revue nettement à la baisse pour un seuil de remboursement plus élevé.

- L'entreprise de réalisation, dernier maillon de la chaîne, mais non le moindre, subira de manière induite les effets d'une valorisation en profondeur de l'acte de bâtir. Elle ne pourra exister que si elle offre les garanties minimales d'encadrement technique et de professionnalisme.

- Concevoir une politique d'information du citoyen, par le biais des médias lourds, sur le séisme.

- Axer, dans la communication au citoyen, sur l'importance du recours aux professionnels dans l'acte de bâtir quelle que soit l'importance de la construction, en cas de séisme.

Enfin...

Le 21 mai 2003, la terre a tremblé, nos certitudes aussi.

Nous tous, architectes, ingénieurs, promoteurs publics ou privés, auto-constructeurs, représentants de l'Etat et élus, avons sur la conscience des Algériens morts, victimes de l'effondrement du toit qui était supposé les abriter.

Il n'est pas permis de parler de séisme atypique, de magnitude imprévue, de compétences nationales avérées pour nous absoudre du manque de rigueur et d'anticipation qui a perverti toutes les règles de conduite, infligeant à notre pays un deuil qu'on aurait pu éviter. Il nous faudra, dans un avenir proche, être à la hauteur pour rendre hommage à la mémoire des victimes, pour ne pas faillir de nouveau.

Notre mission à tous, qui participons de près ou de loin à l'acte de bâtir, est d'agir avant la catastrophe. Agir après n'est plus une affaire de professionnels mais de citoyens tout court.

PUB SIFAMOS