III-1 Introduction

Les études paramétriques approfondies sur la réponse de torsion et l'accouplement latéral de torsion des bâtiments symétriques ou asymétriques ont été conduites pendant les dernières décennies pour développer une compréhension du changement de la réponse de déplacement due à l'asymétrie de bâtiment et à l'accouplement de torsion latéral. Les effets de la torsion sont influencés par un grand nombre de paramètres régissant et sont en soi un problème complexe même pour les bâtiments d'un seul étage.

Les chercheurs ont développé différentes méthodes raisonnables pour déterminer les effets de torsion du tremblement de terre comprenant la torsion accidentelle**.[8]**

III-2 Resistance à la torsion des structures

Une excentricité entre le centre de masse et le centre de cisaillement ajoute des sollicitations de torsion aux efforts horizontaux. La torsion amplifie les déformations subies par les éléments de la construction. Plus l'élément est éloigné du centre de cisaillement, plus les déformations sont amplifies. Lorsque les déplacements ainsi engendrés dépassent la résistance en déformation des éléments de structure (des colonnes, par exemple) ces derniers se rompent et, perdant leur capacité portante, entrainent l'effondrement du bâtiment. En cas de disposition asymétrique des éléments de stabilisation latérale, 1e centre de rigidité ne coïncide pas avec le centre de masse et le phénomène de torsion apparait naturellement.

Cependant, même si le centre de cisaillement et le centre de masse sont théoriquement confondus, il faut considérer la torsion car une excentricité accidentelle, due a une variation des caractéristiques (dimensions, masses, charges utiles, etc.), ne peut pas être exclue, pour cette raison, il convient de conférer dans tous les cas une grande rigidité a la torsion a la structure.

III-3 Termes courants du phénomène de torsion

Torsion :

Sollicitation simple à laquelle sont soumis de nombreux systèmes, une poutre est sollicitée en torsion simple lorsqu'elle est soumise à ses deux extrémités à des actions mécaniques dont les torseurs associés se réduisent à deux torseurs couples opposés dont les moments sont parallèles à la ligne moyenne.

Centre de torsion :

Le centre de torsion (également appelé centre de rigidité) est le barycentre des raideurs. Si une force est exercée sur le bâtiment de telle manière que sa résultante passe par le centre de torsion, alors cette force n'entraine aucun mouvement de rotation du bâtiment.

Ce mouvement de rotation (de torsion) doit d'une manière générale être évité pour limiter le surcroit d'effort dans les éléments de contreventement.

La position du centre de torsion se déduit des positions relatives des différents éléments de contreventement **[17]**

C : Centre de torsion à l'étage (i)

$$X_c = \frac{\sum(R_{il} \times Yi)}{\sum R_{il}} \quad , \quad Yc = \frac{\sum(R_{it} \times Xi)}{\sum R_{it}}$$

X_c , Y_c : coordonnées du centre de gravité par rapport au (OXY)

Xi : distance d'un portique transversal à l'axe (OY)

Yi : distance d'un portique longitudinal à l'axe (OX)

R_{it} : rigidité d'un portique transversale R_{il} : rigidité d'un portique longitudinale .

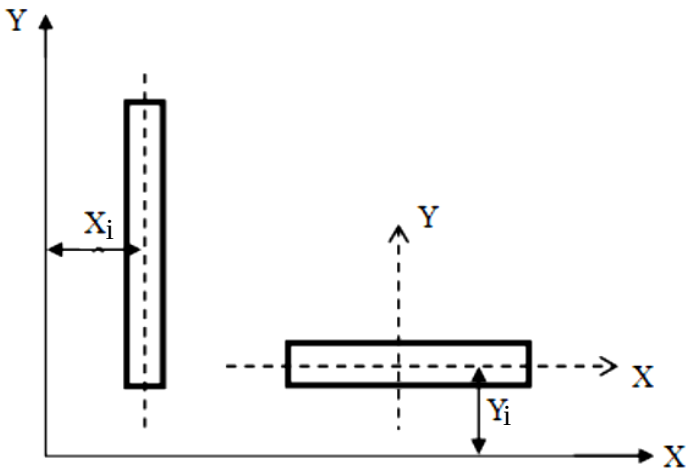

Figure III.1 : Détermination de centre de torsion

Centre de gravité :

Chaque étage possède un centre de gravité cm_j à priori différent de celui des autres étages Pour déterminer les sollicitations d'un niveau i d'un bâtiment de n étages soumis à une action sismique, il faut connaître la position de la force horizontale résultante Vi appliquée à l'étage i ; V_i est la somme des forces d'étage au dessus du niveau i.

V_i passe par le centre de gravité CM_i de l'ensemble des étages situés au-dessus de l'étage i.

Pour déterminer CM_j centre de gravité des masses mj situées au dessus du niveau i il faut : déterminer la masse m_j, "masse sismique" de l'étage, et la position du centre de gravité cm_j de chacun des étages au-dessus de l'étage i ; cette position peut s'exprimer par des coordonnées

X_j et Y_j prise par rapport à un système d'axe quelconque (le même pour tous les étages …)

calculer la position de la résultante : $\sum_{j=i+1}^{n} mj$ soit ses coordonnées X_{CMi} et Y_{CMi}

$$X_{CMi} = \sum_{j=i+1}^{n} mj\, Xj \;/ \sum_{j=i+1}^{n} mj$$

$$Y_{CMi} = \sum_{j=i+1}^{n} mj\, Yj \;/ \sum_{j=i+1}^{n} mj$$

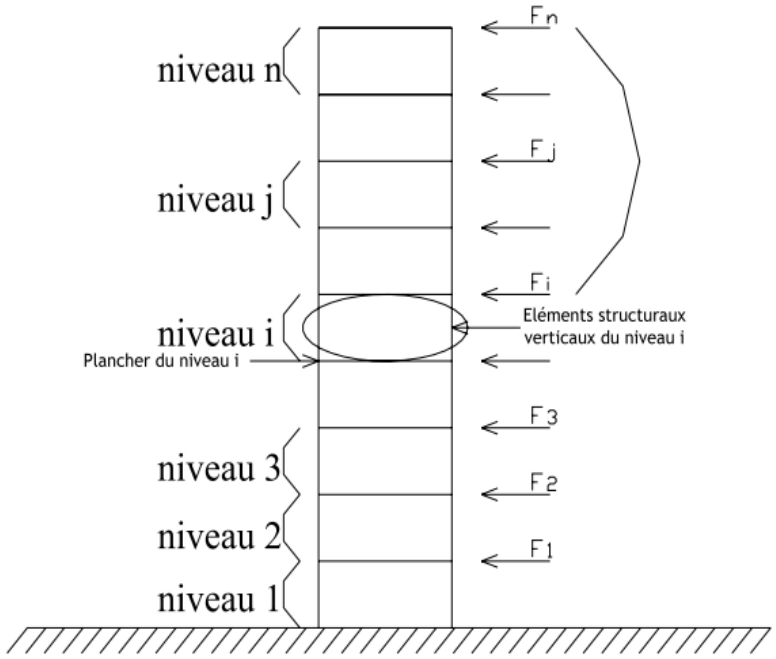

Figure III.2 : Définition des symboles et indices

Contreventement :

Ensemble des éléments de structure résistant aux actions horizontales (vent, séisme ...). Ce sont les murs, les portiques…ect **[17]**

Raideur:

Ce paramètre caractérise le fonctionnement des éléments de contreventement. La raideur correspond à la résistance au déplacement (un élément de grande raideur se déforme peu sous l'effet d'une force). On parlera de structure raide si ses éléments de contreventement présentent une raideur cumulée importante et de structure souple dans le cas contraire. Il faut que les bâtiments présentent une raideur suffisante dans chaque direction pour que les déformations du bâtiment restent limitées en cas de séisme. **[17]**

Remarque : dans le cas de bâtiments de faible hauteur contreventés par des murs ou des panneaux de maçonnerie (supposés tous de même épaisseur), on peut considérer que la raideur des murs ou des panneaux est proportionnelle à leur longueur; la raideur du bâtiment dans chaque direction peut donc être évaluée à partir de la longueur cumulée des murs et des panneaux de maçonnerie dans cette direction.

Excentricité structurlle

Est la distance entre le centre de masse (point d'application des forces sismiques) et le centre de torsion (point où peuvent être concentrées toutes les raideurs)

III-4 Torsion d'ensemble

La torsion d'ensemble est une principe parmi les principes de base du comportement des bâtiment. Elle est l'un des facteurs de dommages sismiques les plus destructeurs. Elle se produit lorsque le centre de rigidité d'une construction n'est pas confondu avec son centre de gravité. Elle a donc lieu quand les éléments de contreventement sont décentrés. Dans ce cas sous l'action de forces horizontales, l'ouvrage tourne autour d'un axe vertical. Au lieu de fléchir comme un bloc, il subit à chaque niveau des déplacements horizontaux. Ce type de sollicitation est mal supporté par la structure. **[18]**

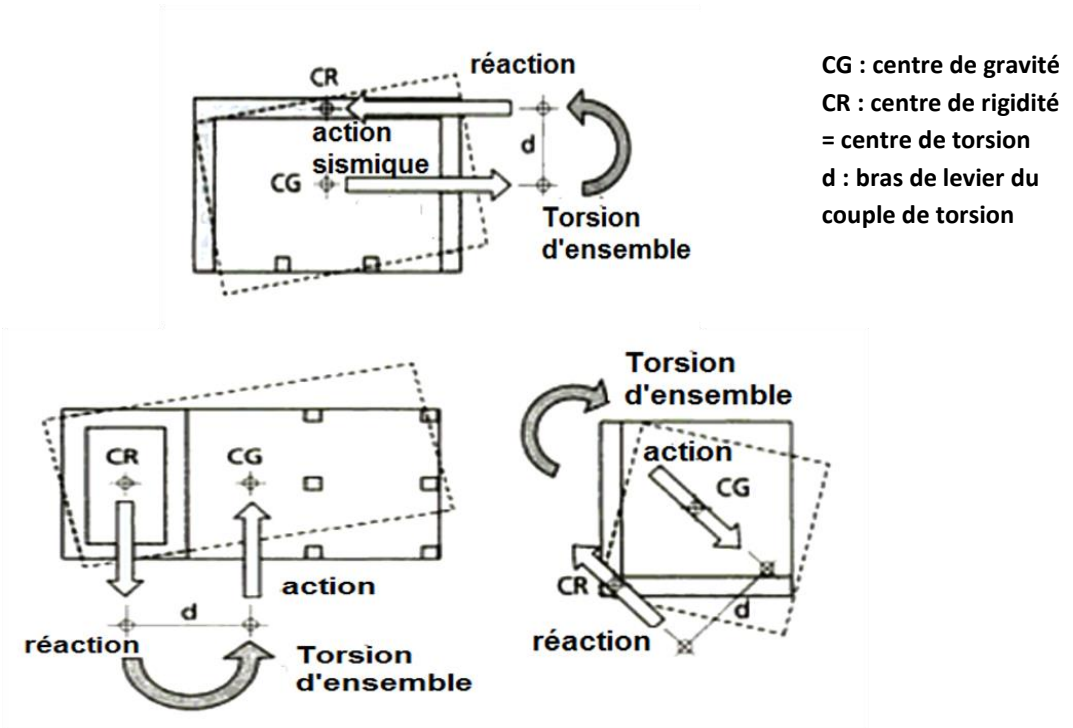

Figure III.3 : Torsion d'ensemble

La construction est soumise à une torsion d'axe vertical d'autant plus importante que la distance entre le centre des masses et le centre de rigidité est grande, C'est autour de ce dernier que la rotation se produit ; il joue le rôle de centre de torsion, (**figure III.2**).

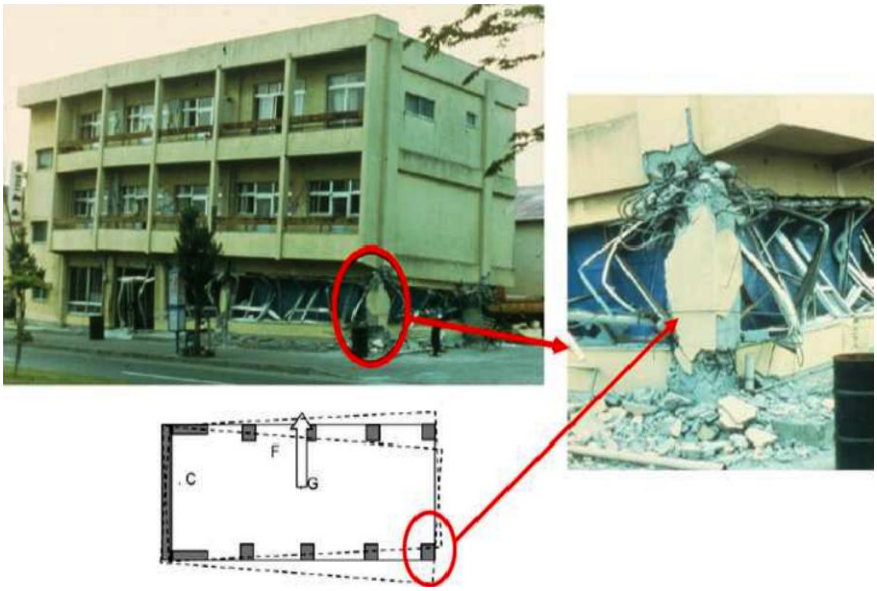

Figure III.4 : Plastification d'un poteau d'angle due à la disposition asymétrique des contreventements **[16]**

II-5 Considération de la réponse à torsion dans la conception des structures

Les observations des bâtiments soumis aux tremblements de terre forts ont prouvé que la réponse de torsion excessive est l'un des facteurs les plus importants, qui produit des dommages graves pour les structures, même l'effondrement. La réponse de torsion excessive est souvent due aux asymétries structurales codifiées, dans la plupart des règles internationales, par une classification structurale qui caractérise les structures régulières et irrégulières, compulse le concepteur pour employer différentes méthodes pour l'analyse structurale. **.[20]**

II-6.1 Sources de réponse de la torsion

Les sources de réponse de torsion peuvent être divisées en deux catégories, (a) torsion naturel et (b) torsion accidentel.

a- La torsion naturelle

Est considérée comme la réponse de torsion résultante due à l'accouplement entre les mouvements latéraux et de torsion des bâtiments avec l'asymétrie inhérente de plan, Les forces dynamiques agissant sur une structure pendant un tremblement de terre sont en fonction de l'inertie massique et sont considérées pour agies par le centre de la masse, CM à chaque niveau de plancher. Si le centre de la masse et le centre de la rigidité, CR, de

chaque plancher ne coïncident pas se résulte un mouvement de torsion quand la structure est soumise à la secousse sismique.**[20]**

b- La torsion Accidentelle

Est un résultat de toute la variabilité imprévue dans les propriétés structurales du bâtiment et la sorcière moulue de mouvements d'entrée mènent aux changements de la réponse de torsion. La distribution réelle de la masse dans un bâtiment est probablement différente que la prétention généralement adoptée que la masse de la construction est concentrée aux planchers et uniformément distribuée.

La torsion Accidentelle doit expliquer l'incertitude en déterminant les endroits du CM et du CR aussi bien que l'incertitude pour déterminer la rigidité et les forces de résistance d'élément de charge latérale dues à la variabilité dans les propriétés matérielles les dimensions d'élément, la fabrication, le contrôle de qualité, les méthodes de construction, et l'histoire précédente de charge. Cela implique que même nominalement les structures symétriques sont en soi asymétriques à un certain degré. D'autres sources de torsion accidentel sont des variations de rigidité avec le temps, l'action non élastique additionnelle possible, la vibration de torsion due au mouvement de rotation bas et aux variations spatiales du mouvement au sol, et d'autres sources imprévues de torsion**.[20]**

II-4-2 Exemples des destructions des structures sous l'effet de torsion

Les figure III.4 montre des destructions d'immeubles dues aux séismes, sous l'effet de la torsion**.**



Figure III.5*:* Effondrement dû à la torsion, El Asnam 1980

III-5 Effet de la torsion d'axe vertical

L'augmentation de l'effort tranchant provoqué par la torsion d'axe vertical due à l'excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité doit être prise en compte. Les efforts tranchants négatifs dus à la torsion devront être négligés.

Pour toutes les structures comportant des planchers ou diaphragmes horizontaux rigides dans leur plan, on supposera qu'a chaque niveau et dans chaque direction, la résultante des forces horizontales a une excentricité par rapport au centre de torsion égale à la plus grande des deux valeurs :

- 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau (cette excentricité doit être prise en considération de part et d'autre du centre de torsion)
- Excentricité théorique résultant des plans. **[6]**

III-6 Effets de la torsion accidentelle

Quand il est procédé à une analyse par modèles plans dans les deux directions orthogonales Les effets de la torsion accidentelle d'axe vertical sont à prendre en compte tel que décrit au paragraphe 4.2.7. **[6]**

Dans le cas où il est procédé à une analyse tridimensionnelle, en plus de l'excentricité théorique calculée ,une excentricité accidentelle(additionnelle) égale à ± 0.05 L,(L étant la dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique) doit être appliquée au niveau du plancher considéré et suivant chaque direction**[6]**

III-7 Oscillations de torsion

Les déplacements horizontaux du sol produisent également des oscillations de torsion des constructions, couplées avec leurs oscillations latérales, les effets des oscillations de torsion sont importants dans le cas des bâtiments de forme irrégulière ou possédant un contreventement excentré, c'est-a-dire dans les cas ou le centre de gravité des bâtiments ne coïncide pas avec leur centre de rigidité (qui est le centre de résistance aux charges latérales)

En effet, lorsque les éléments verticaux rigides. qui assurent Ie contreventement ne sont pas symétriques par rapport au centre de gravité de la construction (par lequel passe la résultante des actions sismiques), Ia structure est soumise a un couple de torsion horizontal, Le centre de rigidité agit alors comme centre de rotation et sa distance au centre de gravité représente le bras de levier du couple. Celui-ci est évidemment variable selon la direction de l'action sismique et selon la position du centre de rotation qui peut être différente d'un niveau à l'autre dans le cas des bâtiments complexes. Lorsque le bras de levier est important, les dommages a la construction peuvent être considérables, allant jusqu'à son effondrement notons que même les bâtiments simples et symétriques subissent des oscillations de torsion.

Elles sont dues d'une part a des déplacements différentiels du sol et d'autre part a un déplacement accidentel du centre de gravite ou du centre de rigidité entrainé par la variation des charges temporaires (personnes. machines. matériaux stockés...), par des défauts inévitables de l'exécution, par des modifications de cloisonnement ou d'équipement lourd postérieures à la construction. par une défaillance progressive d'éléments porteurs en cours de séisme…ect.

Les effets des déplacements différentiels peuvent être notables dans le cas des bâtiments de grandes dimensions horizontales sans joints de dilatation ou dans celui des bâtiments comportant de grandes ailes (bâtiments en forme de X on d'étoile). Par conséquent. toute construction peut être soumise par les tremblements de terre a une torsion plus ou moins importante, Dans le cas des bâtiments correctement conçus. Elle est limitée a la torsion accidentelle. **[19]**



Figure III.5 : Oscillations de torsion

III-8 Excentricité naturelle et excentricité accidentelle

L'excentricité structurelle résulte du décalage entre le centre de la masse et le centre de rigidité de la structure :

$$ex = [\ X_g - X_c\ ] \quad ; \quad ey = [\ Y_g - Y_c\ ]$$

Elle fait partie de la structure. Dans une analyse sismique simplifiée reposant sur des modèles 2D, où les analyses selon les axes X et Y sont faite séparément, l'impact de l'excentricité structurelle est pris en compte en répartissant manuellement les effets de torsion sur la structure.

On applique généralement à l'excentricité structurelle un facteur de sécurité supplémentaire afin de corriger certaines imprécisions liées à l'utilisation d'une méthode simplifiée.

Lorsqu'on a recours à une modélisation 3D de la structure, l'excentricité structurelle est automatiquement prise en compte du fait que X et Y sont liés et sont analysés ensemble, ce qui permet

d'afficher les effets de torsion directement dans l'analyse, sans avoir à les insérer manuellement après coup.

L'excentricité accidentelle est utilisée pour tenir compte des variations imprévues et Incertitudes dans les propriétés géométriques et matérielles des éléments structuraux, la détérioration aléatoire D'éléments structuraux et non structuraux, la variabilité spatiale des masses et la Chargement et la composante de rotation du mouvement sismique du sol

III-9 Evaluation des dispositions du règlement pour la torsion accidentelle

Une procédure est présentée par de La Liera and Chopra pour l'évaluation des dispositions du code des bâtiments pour la torsion accidentelle à partir de l'analyse des mouvements de trois bâtiments symétriques soumises à des excitations sismiques. Cette procédure est utilisée pour analyser les mouvements enregistrés de trois bâtiments.

En premier, lieu ils ont calculés les efforts tranchants et les torsions dans chaque étage à partir des enregistrements en accélérations. Sachant que l'accélération rotationnelle était calculée avec une transformation géométrique simple en utilisant les accélérations en translation enregistrées. Un calcul de l'excentricité accidentelle instantanée $\boldsymbol{e_{xj}(t)}$ est réalisé, à partir du rapport de la torsion sur l'effort tranchant calculés au centre de masse de chaque étage.

$$e_{xj}(t) = \frac{Tj\ (t)}{Vxj\ (t)}$$

$$Vxj = [\ (\ y_j.k.x_j\ )\ /\ Ip\ ]\ x\ Mtx\ x\ (Vx.ey)$$

$$IP = \sum xi^2.k.y_i + \sum yi^2.k^2i$$

où $V_xj(t)$ *et* $Tj\ (t)$ sont l'effort tranchant et la torsion au j ème étage.

III-10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités regroupant des informations de la torsion et leurs conséquences sur les bâtiments, et nous avons présenté les différentes les sources de réponse de la torsion en particulier, nous nous sommes intéressés au connaitre l'effet de la torsion d'axe vertical et l'effet de la torsion accidentelle et son calcul selon le Règlement Parasismique Algérien (RPA99) et aussi nous avons donne une explication sur les oscillations de torsion. On conclu que la réponse en torsion dans les structures soumises à des charges sismiques peut être influencée par des nombreux paramètres.