ASPECTS QUALITATIFS DE LA DUCTILITE DANS LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME

A. KASSOUL
K. EZZIANE
A. KADRI
I.G.C Centre Universitaire de Chlef

RÉSUMÉ

La présentation d'une synthèse générale des notions de base sur la ductilité dans les constructions en béton armé et les travaux réalisés dans ce domaine ont fait l'objet de cet article. Ainsi on présente une vision générale sur l'utilisation de la ductilité dans le règlement parasismique algérien (RPA-88) et on clarifie les perspectives des codes parasismiques à travers l'utilisation du concept de la ductilité.
Enfin, on conclut ce travail par une réflexion sur l'intérêt de l'utilisation de la ductilité dans le prédimensionnement des structures en béton armé et ses perspectives dans le RPA.

MOTS CLÉS

Ductilité • séisme • règlement parasismique • armature • béton armé • confinement • déformation • dynamique • structure.

1. Introduction

Les séismes de forte magnitude sollicitent la structure en dehors du domaine élastique, cette structure devrait présenter non seulement une résistance appropriée aux actions sismiques appliquées, mais une ductilité suffisante pour garantir une absorption de l'énergie sismique sans qu'elle subira de ruine (1). Ainsi plusieurs chercheurs (2), ont essayé, de mettre en évidence l'effet avantageux de la ductilité dans le comportement dynamique des structures, et d'améliorer la résistance aux sollicitations sismiques.

L'objet de cet article est de clarifier la notion de la ductilité et ses différents types, ainsi, il présente une synthèse des travaux conduits récemment par différents chercheurs et les perspectives des codes parasismiques à travers l'utilisation du concept de la ductilité dans la conception préliminaire des structures.

2. Notions de base sur la ductilité

2.1 Relation «Déformabilité Ductilité»

La déformabilité est la capacité d'un matériau, d'un élément de structure où d'une structure entière de se déformer avant la ruine; par contre la ductilité est la capacité de subir une déformation après la fin de la phase élastique [2]. Il est à noter qu'une structure peut avoir une grande déformabilité, alors qu'elle est moins ductile comme le montre la figure 1, où on constate que le voile possède une faible déformabilité alors qu'il est plus ductile comparativement au portique qui est plus déformable et moins ductile.

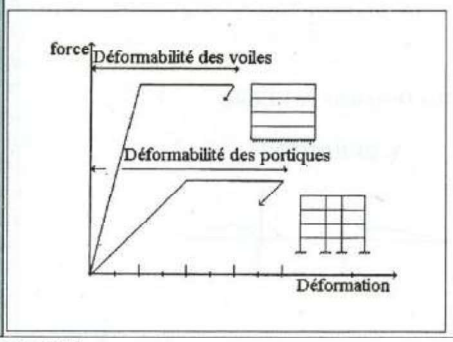

***Figure 1** : Déformabilité et ductilité des voiles et portiques en béton armé [2].*

2.2 Facteur de ductilité

Par définition et selon le diagramme de la figure 2, le facteur de ductilité,est le rapport entre la déformation ultime OD et la déformation obtenue à la fin de la phase élastique OC.

$$\mu_{max} = OD/OC \quad (1)$$

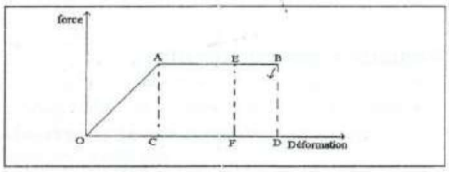

***Figure 2** : Diagramme force-déformation.*

Cependant, cette ductilité maximale peut être atteinte avec un risque de ruine prématuré, pour cela , il appartient donc au concepteur de fixer une ductilité admissible à partir du degré de résistance exigé [3]. Le facteur de ductilité admissible est défini par un point E situé entre A et B, tel que :

$$\mu_{adm} = OF/OC \quad (2)$$

2.3 Détermination des déformations

La détermination des déformations (à la fin de la phase élastique et ultime) pose des difficultés à cause du comportement non linéaire des matériaux. PARK [4] a donné une synthèse des différentes méthodes aussi bien pour la détermination de la déformation à la fin de la phase élastique, que pour la détermination de la déformation ultime.

2.3.1 Déformation à la fin de la phase élastique

La déformation à la fin de la phase élastique correspond à l'un des quatre cas suivants représentés sur la figure 3 :

- Au premier point d'écoulement d'un diagramme de type présenté en (Figure 3a);
- Au point d'écoulement équivalent d'un diagramme élasto-plastique (Figure 3b);
- A l'énergie d'absorption équivalent à l'énergie d'un diagramme élasto-plastique (Figure 3c);
- A la réduction de la rigidité équivalente à une réduction d'un diagramme élasto-plastique (Figure 3d).

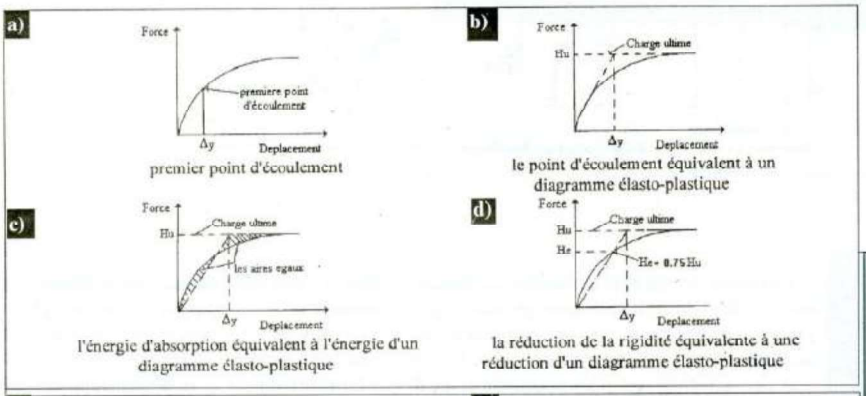

Figure 3 : Différentes définitions pour les déformations de la limite élastique [4]

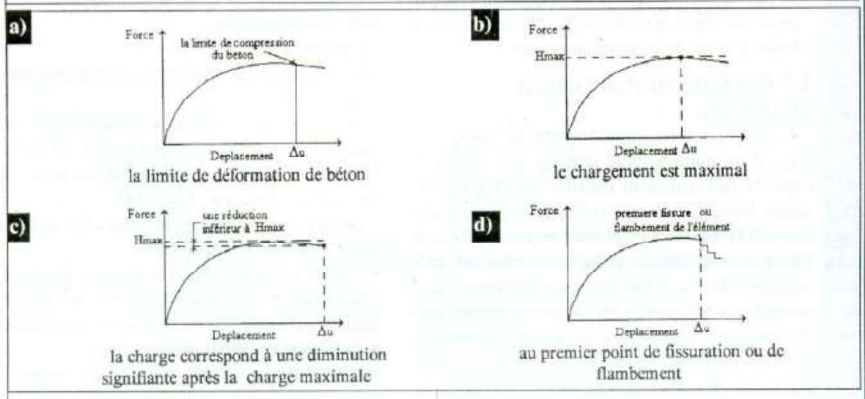

Figure 4 : Différentes définitions pour les déformations maximales (ultime) [4]

2.3.2 Déformation ultime

La déformation ultime correspond à l'un des quatre cas suivants représentés sur la figure 4.

- A la limite de déformation du béton (figure 4a);
- A la déformation correspondant au chargement maximal (Figure 4b);
- A la charge correspondant à une diminution signifiante après la charge maximale (figure 4c);
- Au premier point de fissuration ou de flambement (figure 4d).

2.4 Différents types de ductilité

2.4.1 Ductilité locale

la ductilité locale est la ductilité propre du matériau de construction (aciers ou béton) qui s'exprime par le rapport μ_c de la déformation maximale ε_{max} sur la déformation à la fin de la phase élastique ε_y.

La comparaison des diagrammes «Contrainte-Déformation» de la figure 5, traduit la ductilité importante de l'acier par rapport à celle du béton. Cependant, le facteur de ductilité d'une structure n'est pas seulement en fonction de la nature des matériaux constitutifs, mais il dépend aussi de la déformation relative de la structure elle même.

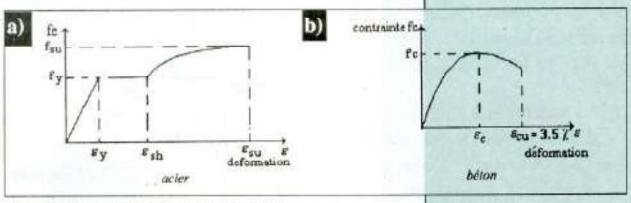

Figure 5: Diagramme «contrainte-déformation» pour l'acier et le béton.

2.4.2 Ductilité intermédiaire

La ductilité intermédiaire est la ductilité des éléments (poutres, poteaux et voiles) qui s'exprime en fonction du comportement de l'élément ou de ses sections droites qui est mieux définie et plus facile à calculer [3].

La mesure du facteur de ductilité intermédiaire des éléments d'une structure, est définie comme étant le rapport de la rotation ultime (courbure ultime) sur la rotation (courbure) obtenue à la fin de la phase élastique.

2.4.3 Ductilité globale

La ductilité globale de la structure, permet d'apprécier son niveau de résistance en phase élastique et les dégradations dues aux déformations qu'elle peut subir sous l'effet de sollicitations plus importantes qui entraînent le plus souvent, des rotules plastiques dans certains points de cette structure (Figure 6).

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. KASSOUL : " Contribution à l'évaluation de la ductilité des constructions autostables en béton armé". Thèse de Magister, Centre Universitaire de Chlef. Juillet 1997.

[2] V.V. BERTERO : "Ductility Based Structural Design - State of the Art Report". Proceeding of Ninth Word Conference ou Earthquake Engineering, Tokyo, Vol (VIII), pp. 673-686. Aug-1988.

→→→

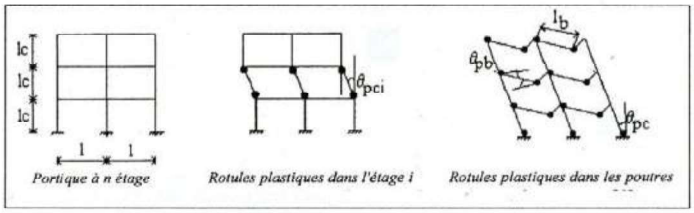

Figure 6 : Distribution des rotules plastiques sur les poutres et les poteaux [5]

[3] N. EDJTEMAI : "Modèles de Calcul de la Réponse Elasto-Plastique d'une Structure à une Action Sismique". Thèse de Docteur Ingénieur en Génie Civil, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, p.256, Juin 1981.

[4] R. PARK : "Evaluation of Ductilité Structures and Structural Assemblages From Laboratory Testing". Bulletin of the New Zeland National Society for Earthquake Engineering, (NZ), Vol.22, n°3, pp.155-166, Sept. 1989.

[5] R. PARK et T. PAULAY : "Strength and Ductility of Frames -in Reiforced Concrete Structures". John Wiley and Sons Editions, pp.497-607, May 1975.

[6] M. SAUDI : "Hystereris Models for Reiforced Concrete". Journal of the Structural Division, Vol.108 pp.1075-1087, May 1982.

[7] S.A.SHEIKH et S.M. UZEMERI : "Strength and Ductility of Tied Concrete Columns". Journal of the Structural Division, Vol. 106, pp. 1079-1102, May 1980.

[8] R. PARK, M.N.J. PRIESTLY et W.D. GILL : "Ductility of Square Confined Concrete Columns". Journal of the Structural Division, Vol. 108, pp. 928-954, Apr. 1982.

[9] M.J.N. PRIESTLY et R. PARK : "Strength and Ductility of Reinforced and Prestressed Concrete Columns and Piles under Seismic Louding". ACI-Structural Journal, n°84, pp. 61-76, Jan. 1987.

→→→

Le facteur de ductilité globale de la structure, est fonction de ses propriétés physico-mécaniques non linéaires et de son comportement dynamique durant une secousse sismique. La valeur de ce facteur, est définie comme étant le rapport du déplacement total sur le déplacement obtenu à la fin de la phase élastique.

2.5 Ductilité en chargement dynamique

L'argument précédent montre le comportement d'un point de vue statique, par contre la capacité des structures ductiles est plus significative lorsqu'on les considère en régime dynamique [3]. En effet, la courbe représentée sur la figure 2 va présenter plusieurs cycles qui proviennent des accélérogrammes sismiques, ceci permet à la structure d'absorber une grande partie d'énergie apportée par le séisme, à condition que son matériau présente une ductilité suffisante dans les deux sens comme le montre la figure 7.

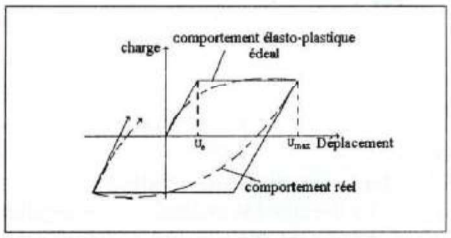

Figure 7 : Comportement élasto-plastique en chargement dynamique [4]

Plusieurs modèles d'hysterisis,ont été élaborés afin d'illustrer le mode d'absorption d'énergie et la dégradation signifiante de la rigidité durant un chargement dynamique, à savoir les diagrammes Takeda, Clough, Q-Hyst, Elasto-plastique et Bilinéaire [6].

3. Travaux antérieurs sur la ductilité

Un grand nombre de recherches expérimentales et analytiques, a été conduit dans différents laboratoires afin d'évaluer et d'améliorer la ductilité (locale, intermédiaire et globale) dans les éléments d'une structure (poutres, poteaux) et dans la structure entière. les différents paramètres analysés sont résumés comme suit :

- La résistance à la compression du béton;
- Le confinement transversal;
- La distributions et le pourcentage des armatures longitudinales;
- L'enrobage des sections;
- La variation de l'effort normal à chaque niveau.

Dans ce sens, on peut citer les travaux effectués sur les poteaux [7], [8], [9], [10], [16], [12]. Ainsi, d'autres ont travaillé sur la ductilité des poutres, tels que [13], [14].

après l'analyse de ces travaux, nous avons dégagé les résultats suivants:

• L'effet favorable de la résistance élevée à la compression du béton, à savoir les bétons à hautes performances en présence d'un pourcentage minimum requis d'armatures.

• L'effet favorable du confinement latéral des éléments en béton armé par les armatures transversales(pourcentage volumique, configuration, espacement); où plusieurs modèles ont été proposés pour l'augmentation de la déformation maximale de la section du béton, où nous pouvons citer les modèles montrés sur figures 8 et 9;

• Le rôle important de la présence des armatures comprimées dans les sections fléchies pour l'amélioration de la ductilité intermédiaire.

En revanche, pour le reste des paramètres à savoir, l'effort normal dans les poteaux, la résistance élevée des armatures longitudinales et le pourcentage élevé des armatures tendues ont un effet défavorable sur la ductilité intermédiaire des éléments.

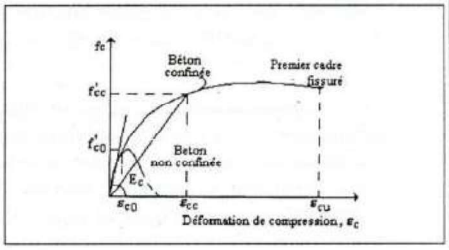

Figure 8 : modèle proposé pour le confinement du béton pour les poteaux [10]

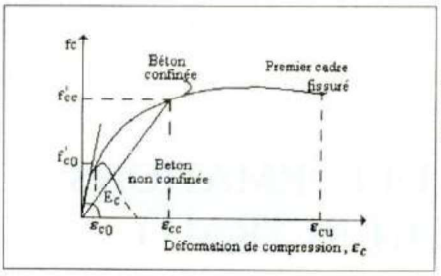

Figure 9 : Influence du pourcentage volumique des armatures tranversales sur la déformation du béton [13]

4. Vision du RPA sur la ductilité

Le code parasismique algérien définit la force sismique totale V comme étant l'effort tranchant agissant à la base de la construction donnée comme le produit de certains coefficients caractérisant la structure et son site [15].

$$V=ADBQW \quad (3)$$

En particulier, le règlement parasismique intègre la ductilité globale en fonction du coefficient du comportement de la structure B qui dépend du type de contreventement. En revanche, il tente à relier d'une manière implicite la ductilité locale (intermédiaire des éléments) par des dispositions dans les zones critiques en imposant des valeurs minimales dans les dimensions et le ferraillage.

5. Perspective des codes parasismiques

Actuellement, dans plusieurs codes parasismiques, l'évaluation de la force sismique est basée sur la réduction du spectre de réponse élastique linéaire (SREL) par un facteur dépendant de l'amortissement et de la ductilité $q(\xi,\mu)$ et dont la conception préliminaire n'utilise pas encore le concept de la ductilité [16] .Bien que le développement des règlements parasismiques a connu des étapes très avancées dans plusieurs pays du monde, les chercheurs dans le domaine du génie sismique visent une méthode de calcul parasismique basée sur la dérivation des spectres de dimensionnement inélastique (SDI) à partir d'une analyse dynamique non linéaire avec la prise en compte de la ductilité dans le prédimensionnement par une approche limite. Sur le tableau 1, on présente la méthode actuelle (I-A), basée uniquement sur la réduction du spectre de réponse élastique linéaire (SREL) par un facteur dépendant de l'amortissement et de la ductilité q (ξ,μ), et dont la conception préliminaire n'utilise pas encore le concept de la ductilité où se situe RPA-88 et les méthodes en développement ainsi que la méthode en perspective (II-C) qui est basée sur la dérivation des spectres de dimensionnement inélastique (SDI) à partir d'une analyse dynamique non linéaire avec la prise en compte de la ductilité dans le prédimensionnement par une approche limite [2].

Prédimentionnement de la construction		Méthode de détermination de la force sismique V	
		(**SREL**)$/q(\xi,\mu)$	Dérivation du (**SDI**) à partir d'une analyse dynamique non linéaire
		I	II
A	sans utilisation de la ductilité μ	RPA-88	
B	utilisation implicite de la ductilité μ		
C	utilisation de la ductilité μ	EURODODE-8	Perspectives

Tableau 1 : Méthodes de calcul de la force sismique avec l'utilisation de la ductilité dans la conception préliminaire

6. Conclusion

Le concept de la ductilité d'une façon générale a été clarifié du point de vue qualificatif, où on a donné des notions sur la déformabilité-ductilité, et les différents types de ductilités locales, intermédiaires et globales. Comme on a montré les facteurs influençants la ductilité. En plus, on a présenté les perspectives des codes parasismiques à travers l'utilisation du concept de la ductilité, dans le dimensionnement parasismique des constructions en béton armé.

Une vision générale sur l'utilisation de cette ductilité par un code parasismique algérien a été donnée. Par ailleurs, il reste à faire une analyse de la ductilité dans les constructions en béton armé dimensionnées par le RPA, afin de mieux cerner ses proportions dans les éléments de résistance et de contribuer à l'amélioration de la conception des constructions ductiles, en utilisant le concept de la ductilité dans le prédimensionnement ■

←←←

[10] J.B. MANDER, M.N.J. PRIESTLY et R. PARK : "Theoretical Stress - Strain Model for Confined Concrete". Journal of the Structural Division, Vol. 114, pp. 1804-1826, Aug. 1988.

[11] Y.K. YONG, M.G. NOUR et E.G. NAWAY : "Behavior of Laterall y Confined High Strength Concrete Under Axial Loads". Journal of Structure Division, Vol. 114, pp.332-351, Feb. 1988.

[12] D. CUSSON et P. PAULTRE : "Le Confinement des poteaux en béton à hautes performances - prévision du comportement". Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, n°192, pp.61-74, Juin 1994.

[13] D.C. KENT et R.PARK : "Flexural Members With Confuned Concrete". Journal of Journal of the Strucural Division, Vol.197, pp.1969-1990, Jul. 1971.

[14] M.S. AL-HADDAD : "Curvature Ductility of Reinforced Concrete Beans Under Low and High Strain Rates". ACI-Structural Journal, Vol.92, n°5, pp.526-534, Sep. 1995.

[15] RPA 99 :"Règles parasismiques Algériennes 199". Document technique règlementaire DTR-BC248 - Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS), Alger 1999.

[16] S.A. HAHIN et V.V. BERTERO : "An Evaluation of Inelastic Seismic Design Spectra". Jouranal of the Structural Division, (USA), Vol.107, pp.1177-1195, Sep. 1981.