



# CONFORTEMENT DES BÂTIMENTS À OSSATURE AUTO STABLE PAR LA MÉTHODE DE PERFORMANCE SISMIQUE

**M. HAMIZI<sup>1</sup>, S. BOUKAIS<sup>2</sup>, N.E. HANNACHI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Maître de conférences, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs,

Département de génie civil, BP 17, TIZI-OUZOU 15000, Algérie – chamizi@yahoo.fr

<sup>2</sup>Maître assistant – chargé de cours, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs,

Département de génie civil, BP 17, TIZI-OUZOU 15000, Algérie – chamizi@yahoo.fr

<sup>3</sup>Professeur, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs, Département de Génie Civil,

BP 17, TIZI-OUZOU 15000, Algérie – hannachina@yahoo.fr

## 1. INTRODUCTION

Ces dernières années, l'industrie du bâtiment en Algérie a connu une demande accrue pour restaurer, renforcer, améliorer le comportement et conforter les structures existantes en béton armé. Ceci est attribué à diverses causes telles la fréquence des séismes (Mascara le 18-08-94, Alger le 04-09-96, Ain Témouchent le 22-12-99, Beni-Ouartilane le 10-11-00 et Zemmouri le 21-05-03), la dégradation environnementale, les insuffisances de conception pratiques, le manque d'entretien régulier, l'augmentation des charges dues au changement de l'utilisation de la structure et surtout les révisions des codes et des règlements. La stratégie de confortement devrait être guidée par les résultats d'une évaluation de la vulnérabilité détaillée du bâtiment [1]. Si l'évaluation fait ressurgir des insuffisances de résistance au séisme et/ou de capacité de déformation uniquement dans quelques éléments, alors une stratégie de réhabilitation locale est plus appropriée [4].

Si par contre les insuffisances sont localisées dans une partie de la structure, telles qu'une irrégularité de la configuration structurale, la présence d'un étage flexible, alors le confortement éventuel devrait se baser sur les solutions suivantes :

- Renforcer quelques éléments verticaux tels que ceux de l'étage faible.
- Conforter par quelques nouveaux éléments, qui sont forts et assez rigides pour éclipser l'irrégularité tels que voiles en béton armé pour solutionner un phénomène de torsion non équilibrée ; ou tout simplement apporter un complément de rigidité à la structure.
- Si la configuration structurale est fortement irrégulière, des joints verticaux peuvent être créés aux endroits choisis dans le plan, pour réduire le bâtiment en un ensemble de blocs indépendants mais réguliers. Dans ce cas des éléments verticaux seront prévus de part et d'autre du joint pour recevoir les éléments horizontaux correspondants. La largeur du joint devrait être suffisante pour évi-



ter le martèlement, particulièrement si les blocs séparés par le joint séismique diffèrent de manière significative dans la taille et/ou la rigidité latérale. Si l'évaluation indique une insuffisance généralisée dans tout le bâtiment, une intervention plus radicale peut être nécessaire, telle que renforcer la plupart, sinon tous les éléments verticaux, ou tout simplement ajouter des voiles en béton armé ou tout autres systèmes de contreventement en acier.

Les nouveaux systèmes de contreventement (ajouts) protègent les éléments existants en ramenant les déplacements globaux sous l'action séismique au niveau correspondant à la capacité de déformation pour laquelle ces éléments ont été conçus. Ils représentent une stratégie plus rentable que la prise en considération de la démolition et le remplacement des cloisons, des finitions architecturales et autres éléments non structuraux ; particulièrement si les locataires devront être évacués et reloger (avec toutes les conséquences que cela comporte) [9]. Toutefois ces nouveaux systèmes de contreventement, peuvent exiger une intervention au niveau des fondations, ce qui représentera une opération complexe du point de vue coût et réalisation. En conséquence, la solution de confortement doit être favorisée au niveau de la périphérie du bâtiment, surtout si le fonctionnement et l'utilisation de la structure sont maintenus pendant la réhabilitation. À moins que dans les poutres des insuffisances caractérisées soient révélées, le renforcement ou le confortement des éléments existants peut être limité aux éléments verticaux. L'intervention dans les poutres est techniquement plus difficile en raison de la liaison monolithique avec le plancher. De plus, l'expérience des tremblements de terre passés a prouvé que les dommages dans les poutres sont moins fréquents que dans les poteaux et beaucoup moins importants pour la stabilité globale de la structure.

## 2. LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE CONFORTEMENT

### 2.1. Confortement par chemisage en béton armé

En raison de son coût, ce type de chemisage (figure 1) est considéré comme étant la technique la plus efficace et la plus couramment employée pendant les deux décennies passées, pour le confortement des structures existantes endommagées par le séisme. Cette rentabilité est due à plusieurs raisons [9] :

- La maîtrise de l'ingénieur du domaine d'application du béton en tant que matériau de construction dans l'industrie du bâtiment relève que, la réhabilitation, spécialement, celle concernant le renforcement des éléments existants ne peut être réalisée par des éléments préfabriqués. C'est à juste titre que le béton armé est considéré comme le premier matériau de construction fabriqué sur place.
- La possibilité que confère ce chemisage de réparer simultanément le dommage local c'est-à-dire partiel ou sur une surface assez importante, et éventuellement le flambement des barres d'acier ainsi que la rupture des armatures transversales. De plus la pleine restauration des armatures sujettes au flambement ou des armatures transversales rompues peut ne pas être absolument nécessaire, si le ferraillage existant est remplacé par une nouvelle disposition d'armatures prévue dans la gaine de béton. Le remplacement du béton endommagé est fait soit de manière ordinaire soit avec du béton projeté.
- La polyvalence du béton armé et sa capacité d'adaptation à presque n'importe quelle forme désirée, y compris celle

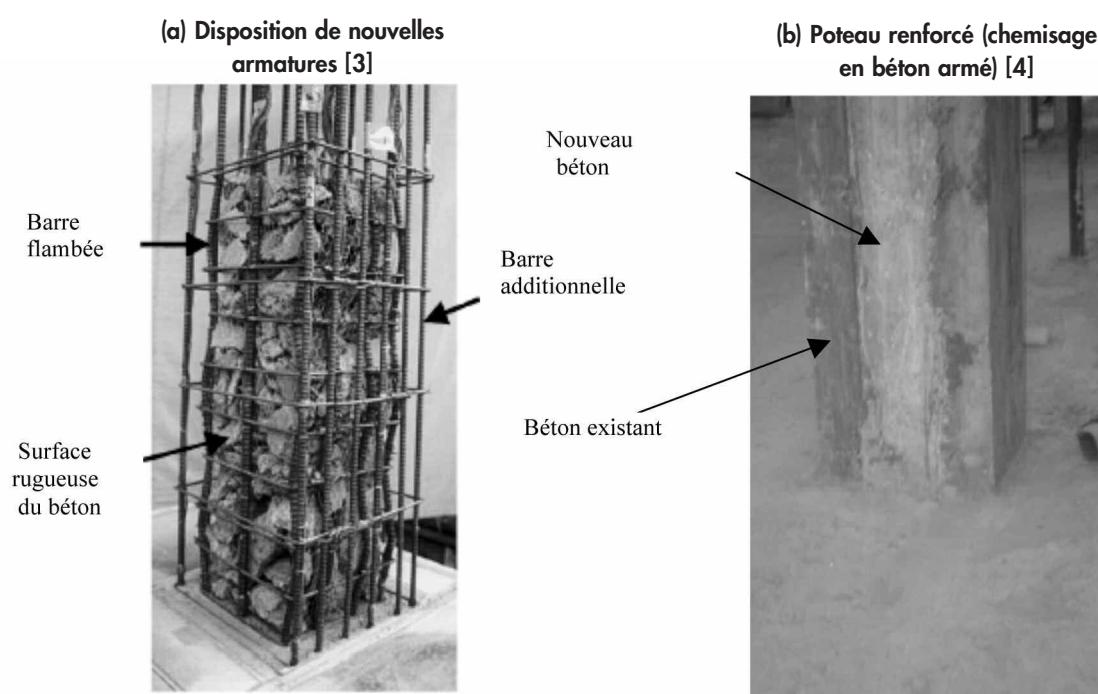


Figure 1 : Cas de chemisage de poteau en béton armé



requise pour ceinturer entièrement les éléments existants en béton, fournissent la continuité structurale entre les différents composants.

– La capacité de la gaine en béton d'avoir, par un renforcement approprié, des effets multiples. Un tel chemisage est le seul moyen d'augmenter en même temps :

- a) la rigidité de l'élément,
- b) sa résistance à la flexion,
- c) sa résistance au cisaillement,
- d) sa capacité de déformation,
- e) l'ancrage.

Les deux premiers effets sont dus à l'augmentation des dimensions de la section transversale et au ferraillage longitudinal supplémentaire, lequel - d'une manière primordiale et à la différence d'autres techniques de renforcement d'éléments individuels - peut facilement se prolonger au delà de l'extrémité de l'élément et s'ancrer dans des régions communes. Pour les trois autres effets, bien que le béton supplémentaire soit également un facteur, l'apport principal est dans l'ajout des armatures transversales supplémentaires (qui agissent contre le cisaillement et contre le flambement des armatures longitudinales).

Du point de vue technique l'efficacité multiple du chemisage en béton armé c'est la possibilité de se prolonger au delà de l'extrémité de l'élément et dans les régions communes, ce qui principalement, le différencie des autres techniques de renforcement des différents éléments en béton armé. Pour cette raison, d'autres techniques ne sont employées principalement que pour augmenter certaines ou toutes les propriétés énumérées sous (a) et (c) à (e) mentionnées juste ci-dessus, mais normalement pas la résistance à la flexion (citée en (b) ci-dessus).

Cependant ce chemisage présente certains inconvénients tels que :

- 1) L'augmentation considérable des dimensions de la section transversale de l'élément, qui peuvent être un inconvénient sérieux dans le cas des colonnes ou des murs dans les bâtiments où la surface utilisable est réduite.
- 2) L'importance et de la durée de rupture de l'occupation, de la production de poussières et des débris, du bruit, de la salubrité et de la sécurité des ouvriers.

Aujourd'hui il y a une tendance croissante pour la prise en charge de tous ces facteurs ce qui fait penser qu'en dépit de leur avantage présent et futur du point de vue coût- efficacité celui-ci peut s'inverser au profit d'autres techniques en concurrence.

## 2.2. Confortement par injection de voiles

Une des méthodes les plus utilisées pour le confortement de structures existantes est l'incorporation de voiles additionnels pour résister partiellement ou totalement aux efforts sismiques (figure 2). Il faut se rappeler que l'inertie de ces voiles est très importante, et de ce fait le comportement dynamique lors d'un séisme change considérablement. Il est très important de réunir des conditions favorables définissant cette nouvelle redistribution des efforts latéraux, particulièrement [7] :

- En évitant de grandes concentrations de contraintes dans des éléments de faible résistance et/ou de faible ductilité, en positionnant rationnellement les éléments de confortement.

(a) Voiles disposés en façades



(b) Voiles disposés en pignons



Figure 2 : Confortement des bâtiments par voiles en béton armé [1]



(a) Disposition du ferraillage



(b) Continuité du ferraillage dans la poutre



Figure 3 : Incorporation d'un voile en béton armé dans un portique [4]

- En réduisant les effets de torsion et les irrégularités.
- En créant des liaisons adéquates entre la structure existante et les nouveaux éléments incorporés.
- En procurant aux éléments de la structure et à la structure entière, une résistance, une rigidité, et une ductilité convenable.

L'étude de confortement est spécifique à chaque structure, pour déterminer l'emplacement, le nombre et les dimensions des nouveaux éléments à incorporer, une étude structurale préalable est conseillée et des mesures strictes sont à considérer (figure 3).

### 2.3. Confortement par palées de stabilité

Quand de larges ouvertures sont nécessaires, il est possible de conforter une structure existante par des palées triangulées ou des éléments en treillis verticaux (Figure 4). Dans une structure en portiques, des éléments placés en diag-

nale peuvent former avec les poutres et les poteaux, si leurs rigidités sont satisfaisantes, un élément en treillis (Figure 5(a)). Sinon incorporé un portique additionnel en charpente métallique (Figure 5(b)). Il faudrait s'assurer que les liaisons, entre les éléments en acier et ceux en béton (Figure 6), soient convenablement réalisées. Le système fonctionne alors par une transmission d'efforts normaux au lieu de la flexion et du cisaillement.

## 3. MÉTHODE DU POINT DE PERFORMANCE

### 3.1. Méthode pushover

La méthode que nous proposons pour évaluer la performance sismique d'une structure de Génie civil est une méthode statique non linéaire, qui consiste essentiellement à comparer la demande à la capacité sismique [5]. Cette méthode, essentiellement basée sur le spectre de capacité de la structure, repose sur une analyse pseudo statique non linéaire simplifiée. La sollicitation ne varie pas dans le temps, et la déformation correspond uniquement au premier mode de vibration. La méthode statique non linéaire basée sur le point de performance nécessite la définition de :

#### 3.1.1. La demande sismique

En génie civil, la représentation temporelle d'un séisme par un accélérogramme, bien qu'il représente complètement le mouvement sismique, n'est pas couramment utilisée, car l'analyse temporelle, de la réponse d'un bâtiment à un séisme nécessite d'une part, des moyens de calculs relativement lourds, d'autre part, s'affranchit difficilement du caractère particulier, du choix d'un accélé-

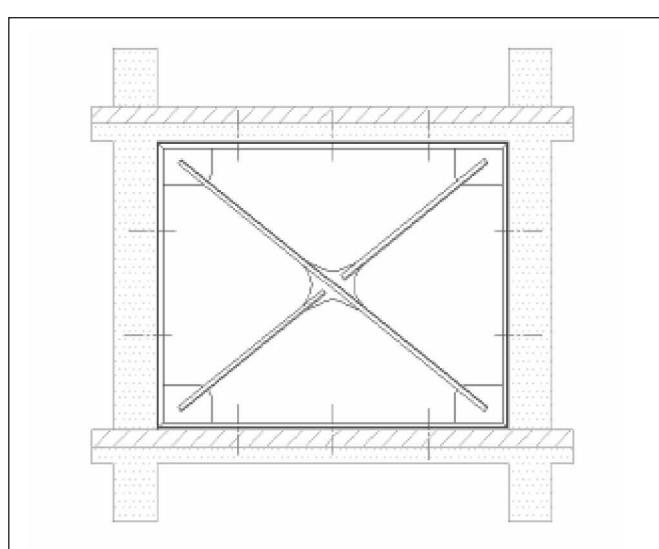


Figure 4 : Schéma de principe d'un confortement métallique

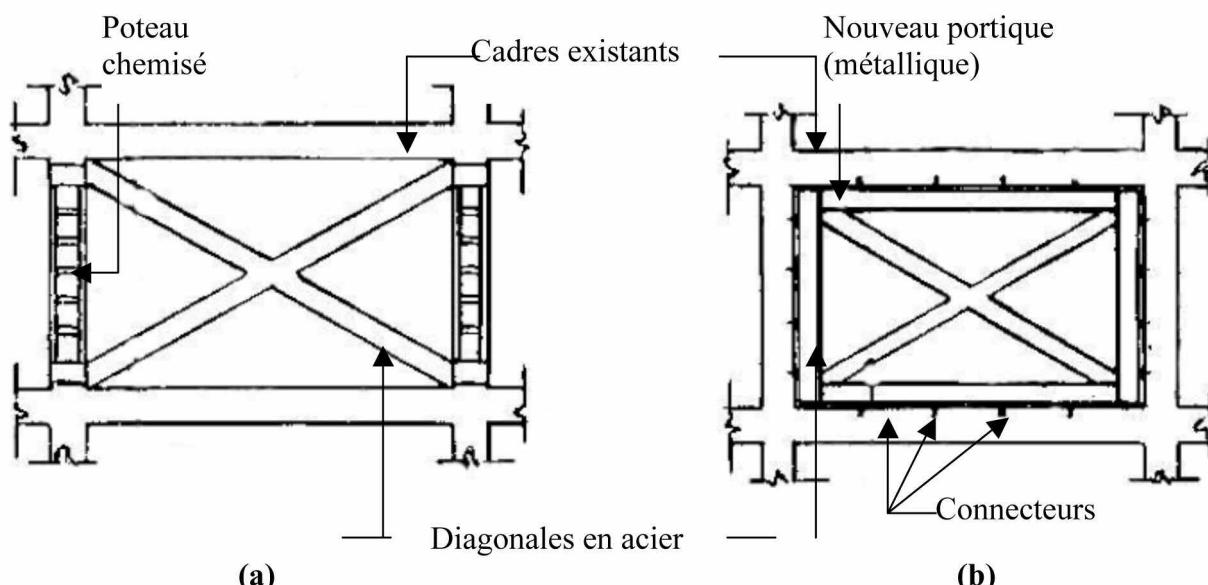


Figure 5 : Confortement par palées triangulées

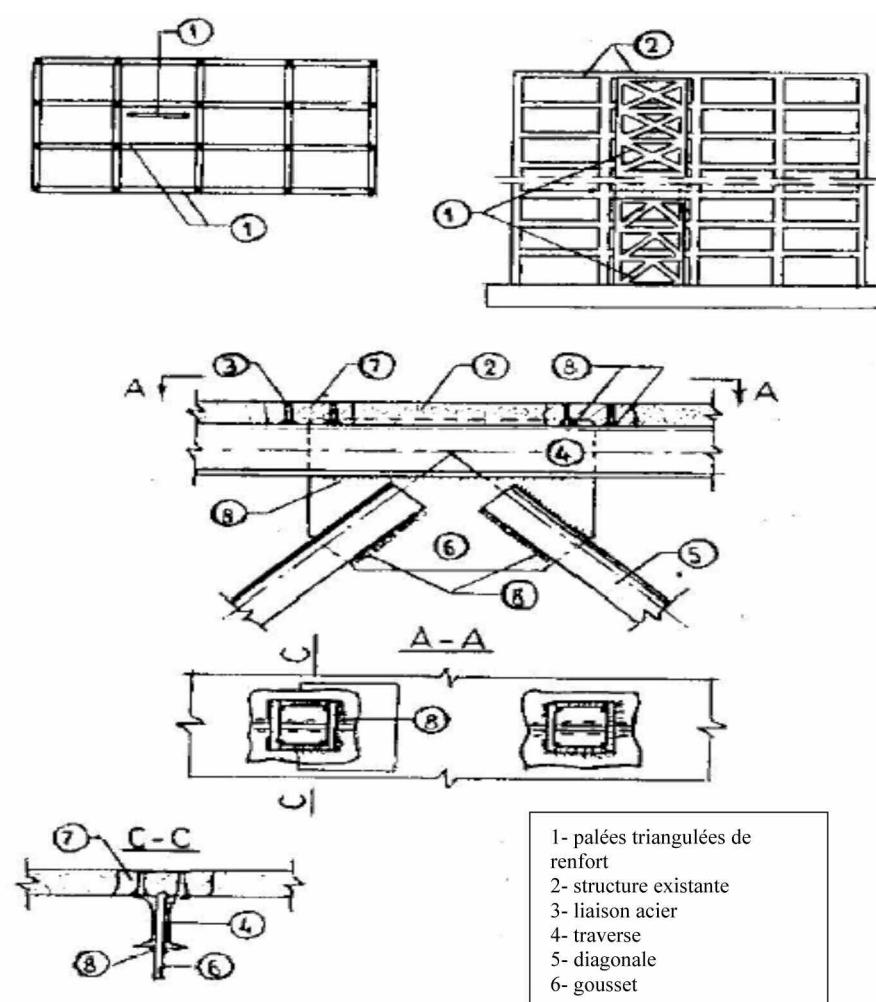


Figure 6 : Schématisation des liaisons entre les éléments en acier et ceux en béton

rogramme. La notion la plus répandue pour représenter un séisme en génie civil est, le spectre de réponse d'un oscillateur linéaire. Cette réponse est obtenue en étudiant simplement un oscillateur de masse (M), de raideur (K) et d'amortissement (C), dont le déplacement relatif par rapport à son support soumis à une excitation sismique représentée par son accélérogramme [5]. Dans la méthode du spectre de capacité, que nous allons utiliser, la demande sera représentée par le spectre de réponse élastique du RPA 99 [2].

### 3.1.2. La courbe de capacité

On soumet la structure à des efforts horizontaux (ce sont des efforts horizontaux appliqués aux planchers). Ces efforts sont répartis proportionnellement à la déformée du premier mode et sont appliqués d'une manière incrémentale. On représente les déplacements correspondant à chaque pas de force, et on construit ainsi la courbe force-déplacement correspondant au comportement de la structure (Figure 7). Cette courbe peut être aussi obtenue par la technique "pushover" qui consiste à appliquer au modèle mathématique d'une structure un déplacement dans le but de définir la séquence de l'endommagement dans le domaine non-linéaire afin détecter les rotules plastiques.

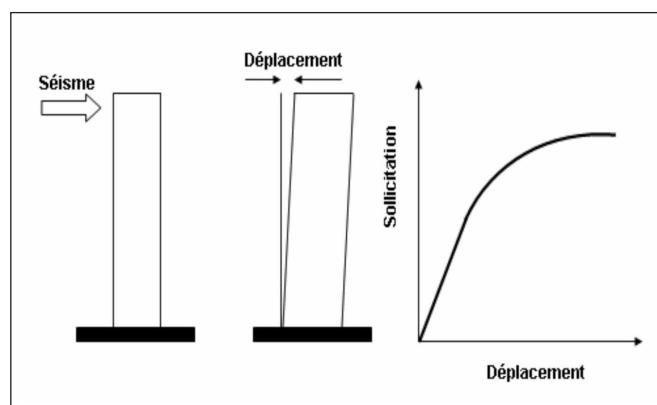


Figure 7 : Signification physique de la courbe de capacité

Dans cette étude nous avons considéré que, les rotules apparaissent toujours aux nœuds, où ce phénomène se localise généralement. Mais en réalité, ces rotules apparaissent une après l'autre, dans les sections faibles de chaque élément de la structure, et la plastification se produit d'une manière progressive. Pour simplifier l'analyse, nous avons considéré que les rotules apparaissent instantanément dans les nœuds ; toutefois, une analyse pas à pas serait nécessaire pour une solution plus exacte. Ces rotules plastiques sont caractérisées par certains paramètres qui définissent la capacité de déplacement, ou de rotation de la rotule, avant sa rupture. Pour les structures en béton, nous avons utilisé les paramètres par défaut du logiciel, nous avons considéré une rotule de type force déplacement [6].

### 3.1.3. Niveaux d'endommagement

La courbe de capacité qui représente le déplacement du dernier niveau d'un bâtiment en fonction de la force sismique, indique le comportement de la structure face à

n'importe quelle sollicitation horizontale, indépendamment de son intensité. Bien évidemment, le déplacement de la structure augmente avec la force, jusqu'au moment où celle-ci perd complètement sa capacité de résistance [6]. De cette manière, le comportement d'un bâtiment face à un séisme donné, peut être estimé à travers une analyse visuelle de la courbe de capacité. Ainsi, plusieurs niveaux d'endommagement peuvent être distingués (Figure 8).

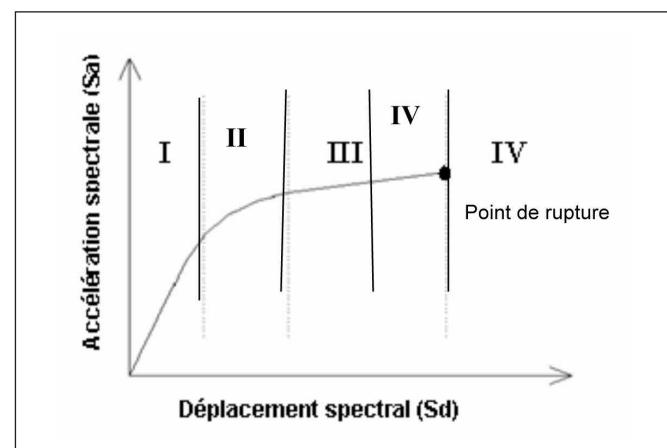


Figure 8 : Les différents niveaux d'endommagement

### 3.1.5. Représentation simplifiée de la courbe de capacité

Deux points sont nécessaires pour une caractérisation simplifiée de la courbe de capacité. Un point A ( $S_{ay}, S_{dy}$ ) qui, représente l'entrée dans le domaine post élastique, et un point D ( $S_{au}, S_{du}$ ) qui, représente la perte totale de la capacité de résistance de la structure (Figure 9) [11].

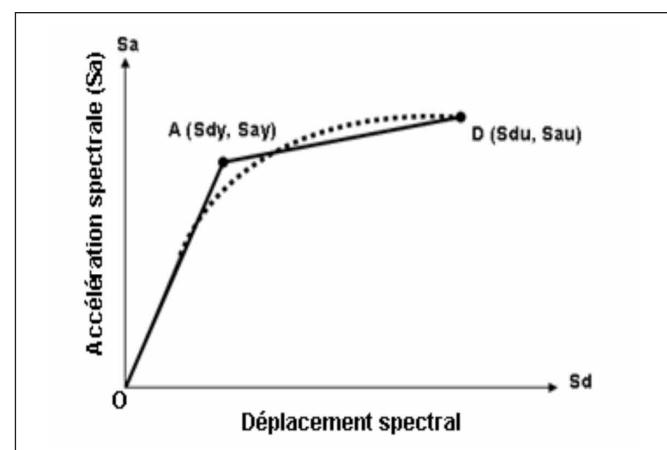


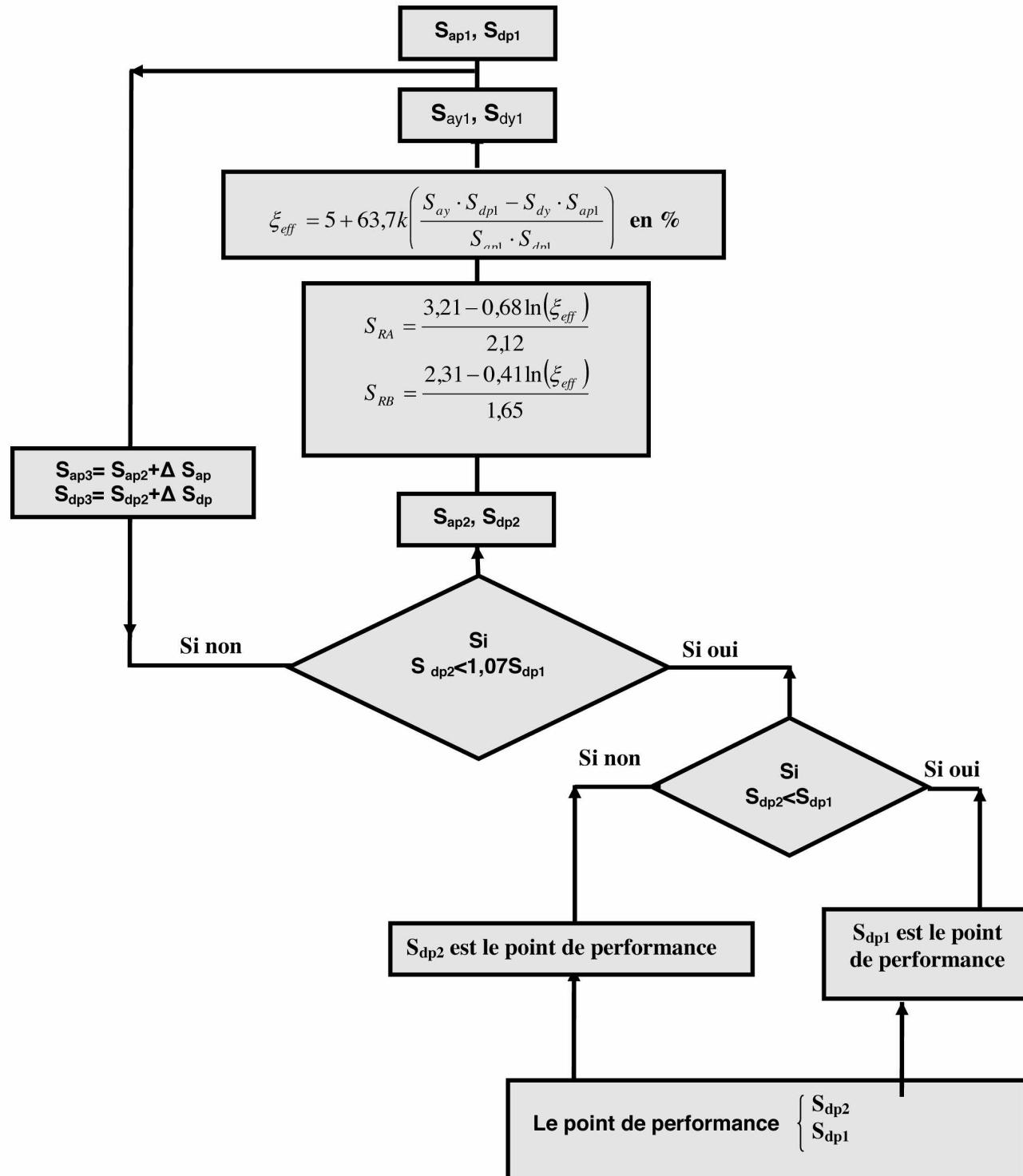
Figure 9 : Représentation simplifiée de la courbe de capacité

### 3.1.6. Typologie des constructions

En fonction de la ductilité du système étudié, les structures en génie civil sont classées en trois classes (classe A avec  $\mu_{\Delta} > 6,5$  et classe B avec  $4,0 \leq \mu_{\Delta} \leq 6,5$  et classe C avec  $1,0 \leq \mu_{\Delta} \leq 4,0$ ) [3].



## 4. PROCÉDURE D'ÉVALUATION DU POINT DE PERFORMANCE (MÉTHODE ITÉRATIVE)



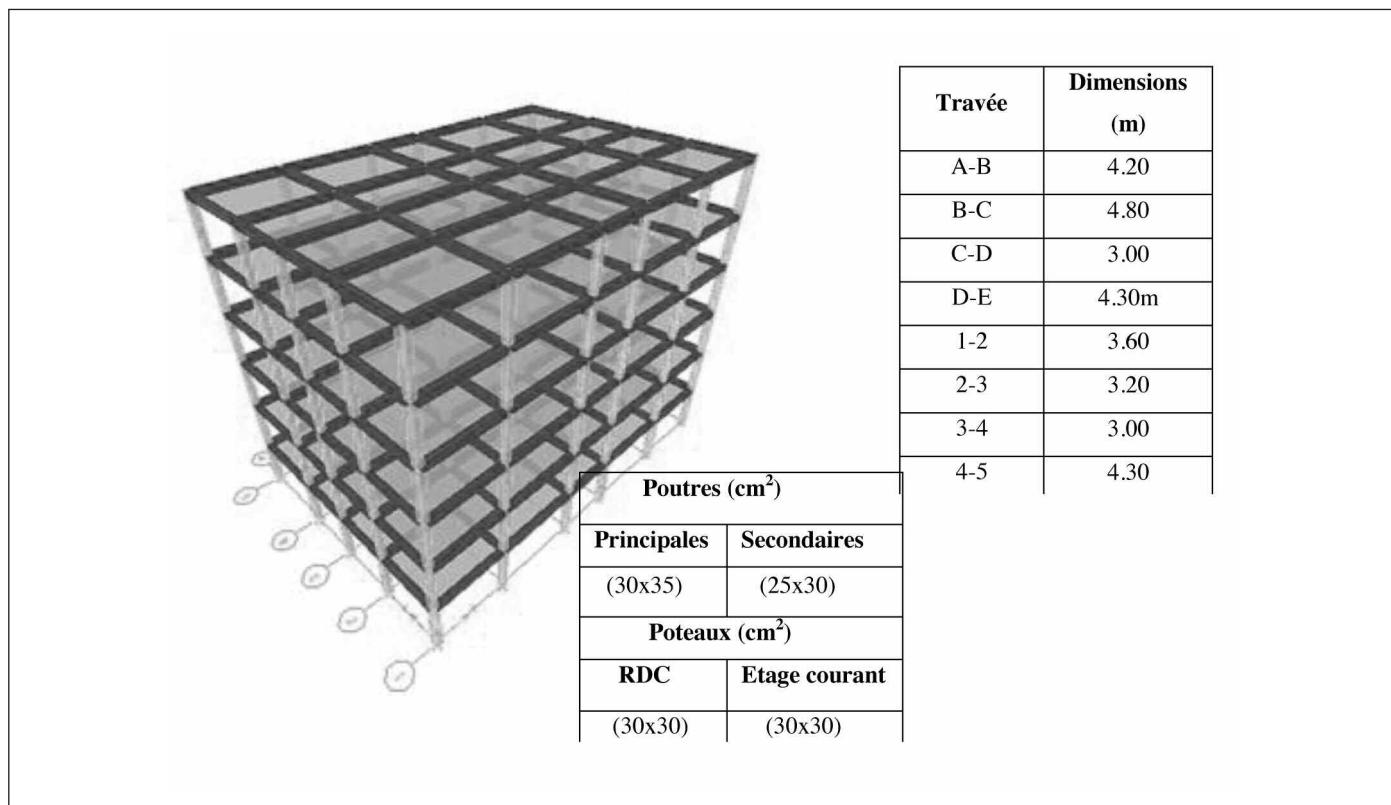


Figure 10 : Vue en 3D du bâtiment

## 5. CONFORTEMENT D'UN BÂTIMENT (R+5)

### 5.1. Présentation et description du bâtiment

Le bâtiment est à usage d'habitation dont le rez-de-chaussée est destiné au commerce, la structure est constituée de portiques auto stable en béton armé en (R+5) (Figure 10), avec des remplissages en maçonnerie. Ce dernier est implanté sur un sol argileux classée selon le RPA 99 en site S<sub>3</sub> (sol ferme) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement  $V_s \geq 200$  m/s et des périodes de transitions spectrales T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> de 0,15 et 0,5 s respectivement [2].

### 5.2. Evaluation du point de performance

#### 5.2.1. Avant confortement

Un point de performance est évalué avant le confortement de la structure afin de déterminer son degré de dommage. Ce point est calculé pour les deux sens (XX et YY) et il est donné par les figures 11 et 12.

#### 5.2.2. Confortement par chemisage des poteaux

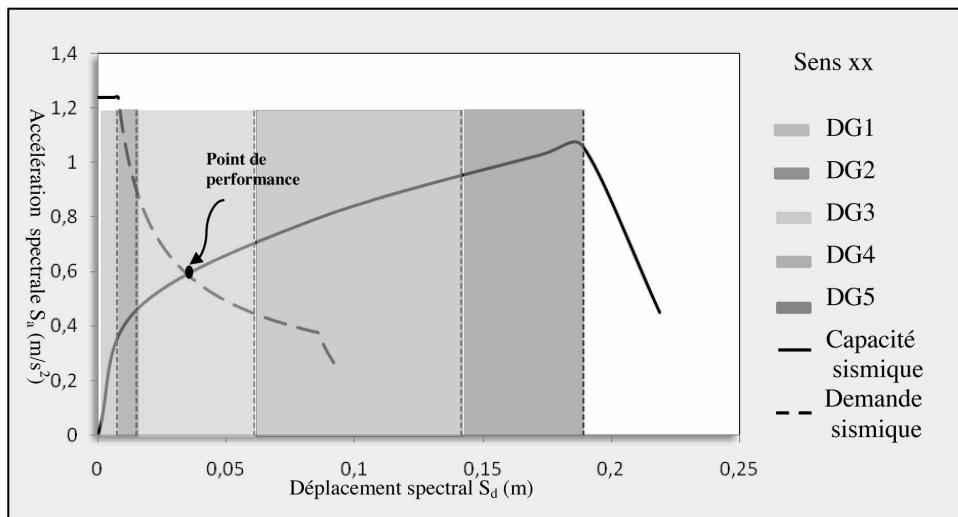
La technique de renforcement qu'on a utilisé, dans un premier temps, pour notre bâtiment est le renforcement par chemisage des poteaux en béton armée [9]. Nous avons opté pour le chemisage des poteaux endommagés (poteaux

d'angle et ceux de la cage d'escalier). En premier lieu nous avons adopté une section de poteaux de (40x40) cm<sup>2</sup>, puis, afin d'améliorer la performance sismique du bâtiment, nous avons utilisé d'autres sections à savoir des poteaux de (50x50) cm<sup>2</sup> et des poteaux avec une section de (55x55) cm<sup>2</sup>. Chaque fois, nous avons estimé le niveau d'endommagement de la structure. Dans cet article nous présentons, uniquement, les résultats obtenus pour la section (55x55) cm<sup>2</sup> dont les points de performance sont donnés par les figures 13 et 14.

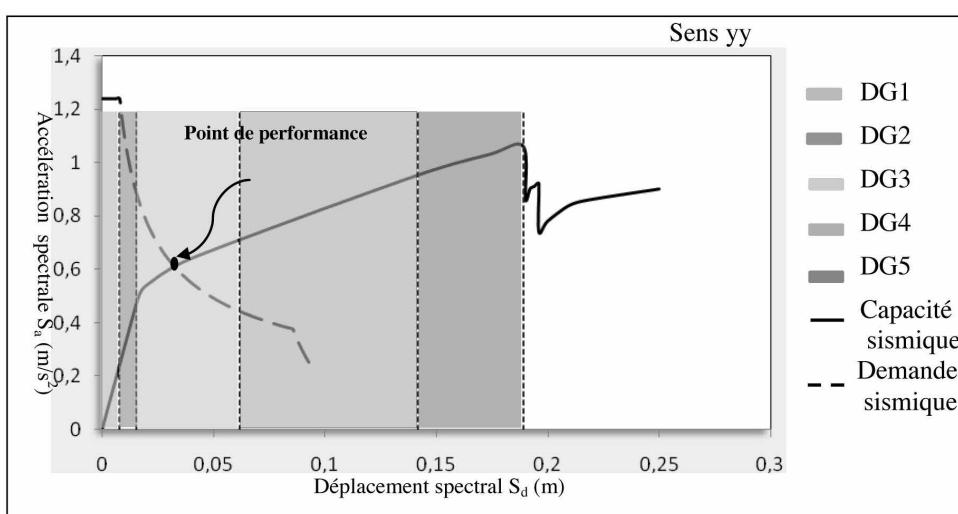
**Remarque :** Le chemisage des poteaux n'améliore pas La performance sismique pour ce type de bâtiment qui est un bâtiment classique endommagé par un séisme de l'ordre de 0,2g (le niveau des dommages reste orange 3). Le chemisage des poteaux ne peut pas être une solution dans ce cas puisque les dommages envisagés sont toujours assez élevés. Nous suggérons dans ce cas de passer soit par une injection de profilés métalliques (palé de stabilité) ou une injection de voiles.

#### 5.2.3. Confortement par injection de palées de stabilité

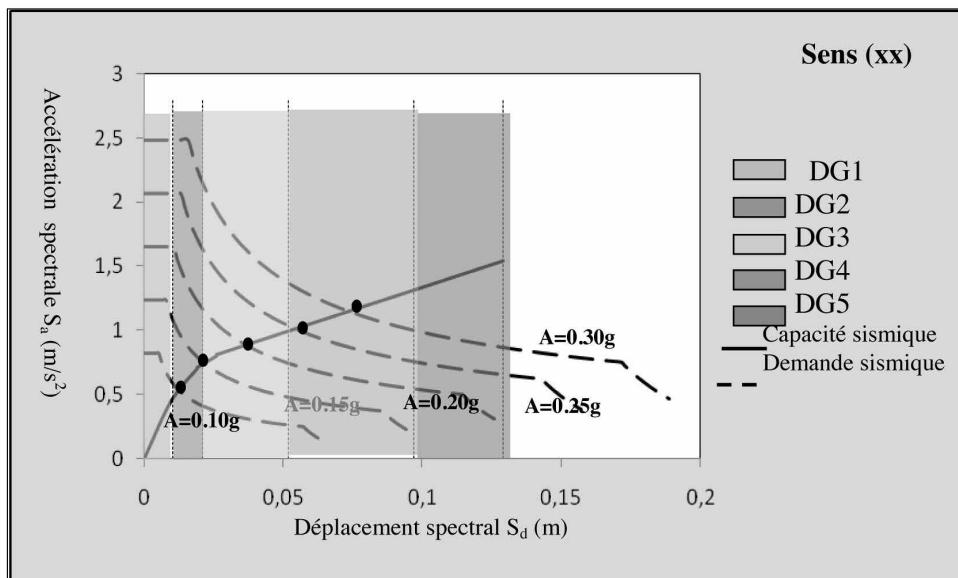
Comme deuxième type de confortement de notre bâtiment, nous avons opté pour l'injection de palées de stabilités qui sont représentés par des profilés métalliques de type IPE 100 et 120 disposés en X [10]. Pour cela nous avons choisi trois (03) dispositions différentes pour voir et comparer les niveaux de performance de chaque disposition sur ce bâtiment. Nous donnons seulement, ici, celle qui donne les meilleurs résultats (palés de stabilité disposés au niveau des angles de la structure). Les points de performances sont donnés par les figures 15 et 16.



**Figure 11 : Point de performance selon la direction (xx)**



**Figure 12 : Point de performance selon la direction (yy)**



**Figure 13 : Variation du point de performance en fonction de l'accélération sismique selon la direction (xx)**

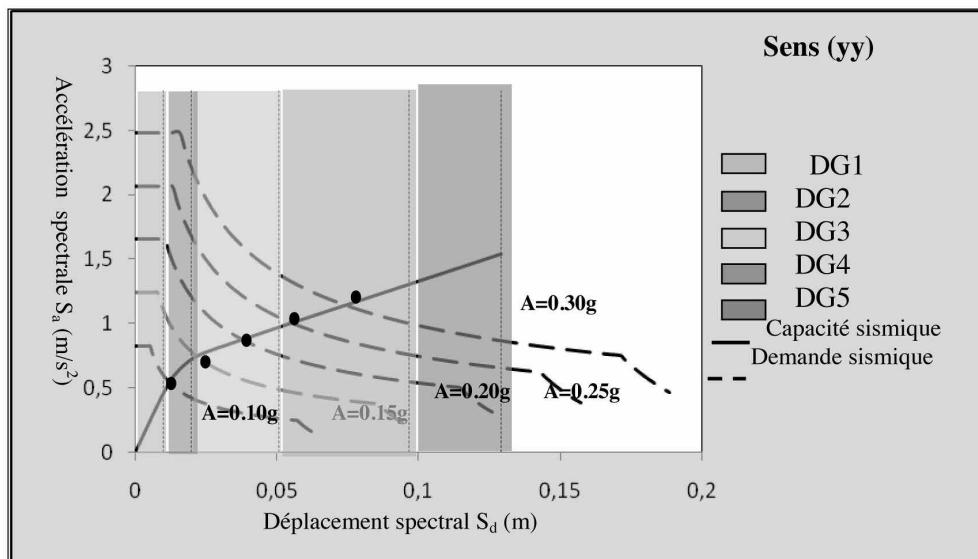


Figure 14 : Variation du point de performance en fonction de l'accélération sismique selon la direction (yy)

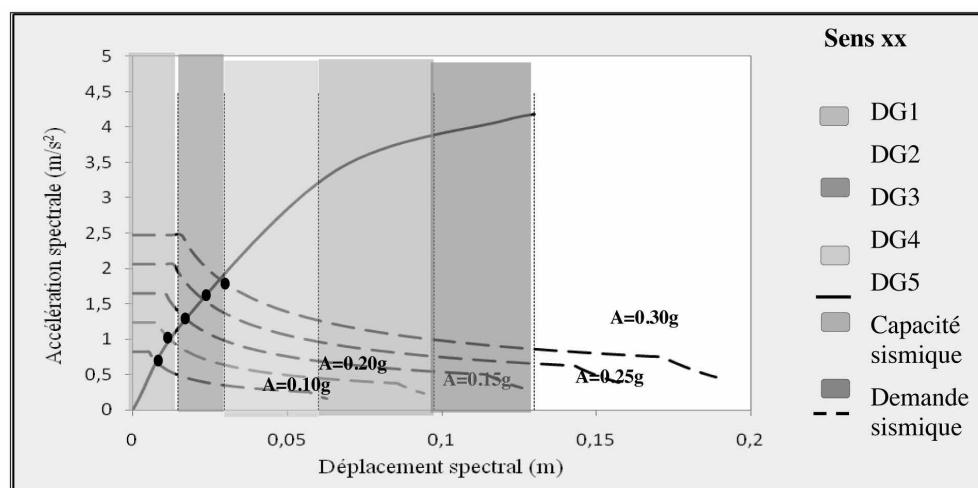


Figure 15 : Points de performance selon la direction (xx)

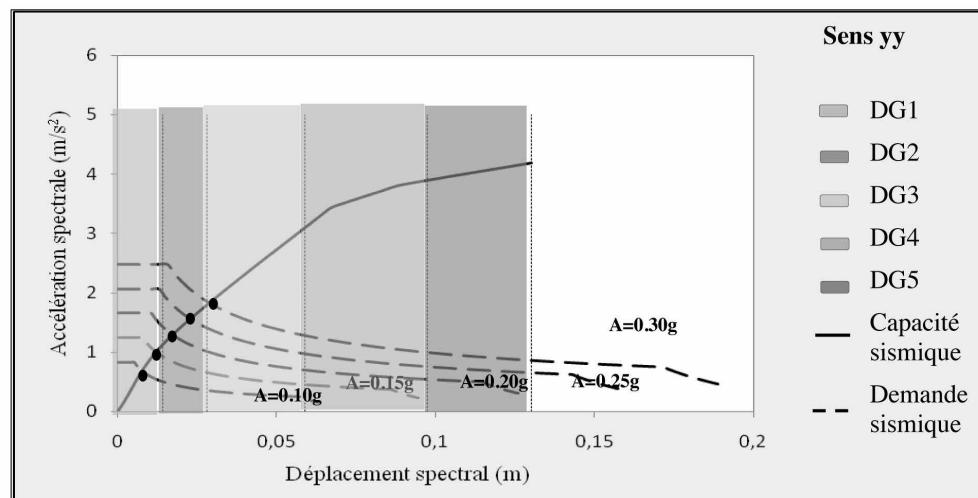
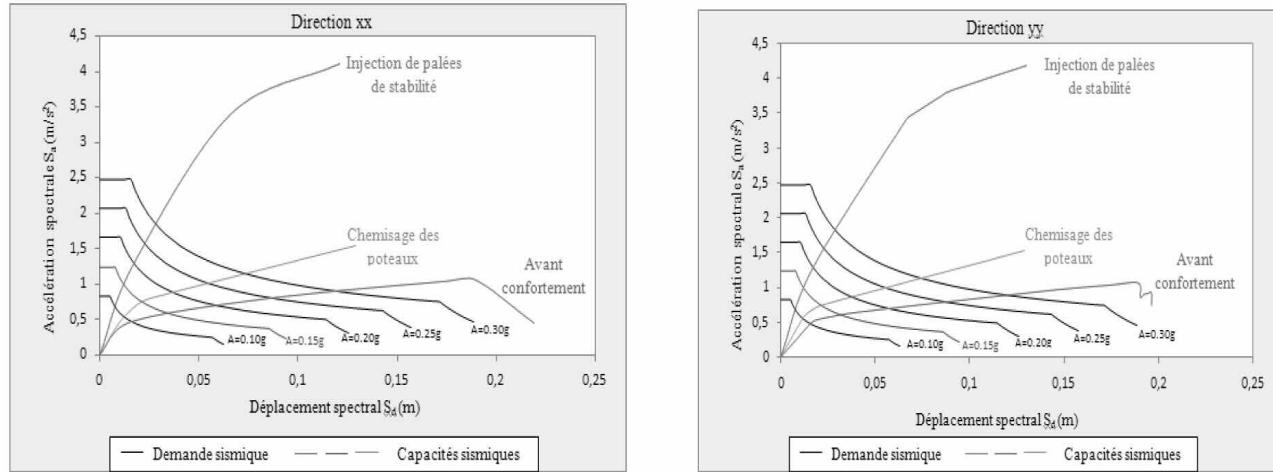


Figure 16 : Points de performance selon la direction (yy)



**Figure 17 : Comparaison en ce qui concerne le point de performance entre le chemisage et l'injection par des palées de stabilité**

**Remarque :** Nous observons très bien que le confortement par injection de palées de stabilité à améliorer le point de performance du bâtiment (le niveau des dommages pour un séisme modéré (0,15g) est passé de orange 3 au vert 1).

#### 5.2.4. Comparaison

Une comparaison entre les deux types de confortement (chemisage et injection de palées de stabilité) a été entreprise afin de montrer l'efficacité et la pertinence du choix. Cette comparaison est montrée par la figure 17.

## 6. CONCLUSION

La méthode mise au point permet, non seulement d'évaluer le point de performance sismique d'une structure, mais aussi de proposer un type de confortement ainsi que son emplacement. Cette technique permet d'optimiser la quantité du matériau d'apport et assure la stabilité de l'ouvrage avec un degré de dommage maîtrisable. Nous venons de montrer que l'injection de palées de stabilité donne de meilleurs résultats quant à la tenue sismique de l'ouvrage et démunie les dommages supposés de la structure.

## 7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Seismic retrofitting techniques-bulletin, p.164, 24 fib, CEB-FIP.
- [2] Règles Parasismiques Algériennes RPA 2003, p.56.
- [3] Exercice de la mission d'expertise et de réhabilitation, C.T.C-EST, 2006, p.38.
- [4] Takorabet et B. Fouré. Les différentes techniques de renforcements parasismiques. CEBTP, p.11, Décembre 2000.
- [5] O.M. Reinhoor and R.E. Valles. Damage evaluation in inelastic response of structures: a deterministic approach. Technical report NCEER-95, state university of New York at Buffalo. USA 1995.
- [6] O.M. Reinhoor, R.E. Valles and M. Lysiac. Simplified inelastic response evaluations using composite spectra. Journal of Structural Engineering ASCE Washington USA 1996.
- [7] S. Boukais ; M.Hamizi ; N.E Hannachi. Vulnérabilité et performance sismique des constructions en portiques auto-stables avant et après confortement. Revue des ANNALES du BATIMENT et des TRAVAUX PUBLICS. Edition ESKA, Avril- Juin 2009-N° 2-3.
- [8] Règlement parasismique Algérien R.P.A. 99 version 2003. Document technique réglementaire DTR BC 248 (CGS).
- [9] S. Boukais, M.Hamizi. Etudes de confortement des structures de bâtiments en béton armé. Revue de l'équipement N°2-3. 2008.
- [10] EUROCODE 8 (2003). Calcul des structures pour leur résistance au séisme. Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Normes Européennes, Bruxelles.
- [11] Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Volume 1, Applied Technology Council. California Seismic Safety Commission. Report SSC 96-01.