

VULNÉRABILITÉ ET PERFORMANCE SISMIQUES DES CONSTRUCTIONS EN PORTIQUES AUTO-STABLES AVANT ET APRÈS CONFORTEMENT

S. BOUKAIS¹, M. HAMIZI², N.E. HANNACHI³

¹ Maître assistant A, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs,
Département de génie civil, BP 17, Tizi-Ouzou, 15000 Algérie sbouka58@yahoo.fr

² Maître de conférences A, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs,
Département de génie civil, BP 17, Tizi-Ouzou, 15000 Algérie chamizi@yahoo.fr

³ Professeur, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs,
Département de Génie Civil, BP 17, Tizi-Ouzou 15000, Algérie hannachina@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les séismes sont des phénomènes naturels très destructeurs (en fonction du niveau de magnitude, de la distance au foyer, du type de sol, du matériau, de la typologie de la structure, ...), causant d'énormes pertes humaines et matérielles dans les grandes concentrations urbaines suite à la ruine des bâtiments. Il apparaît alors primordial d'évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en vue de prévoir les possibles conséquences. Il convient alors de diminuer les impacts en créant des stratégies de prévention dans les zones les plus vulnérables. L'approche globale pour évaluer la probabilité de défaillance face à un séisme repose sur une estimation de la vulnérabilité définie sur la base de divers critères mécaniques explicatifs. Elle consiste à établir, à partir de connaissances expertes pour des constructions de bâtiments, les critères mécaniques les plus influents vis-à-vis du séisme. L'évaluation de la vulnérabilité par une approche analytique [1] permettra en effet de déterminer un indicateur conventionnel de vulnérabilité qui conduit au classement des bâtiments en très dangereux (R_5), dangereux (O_4 et O_3), sûrs (V_2) et très sûrs (V_1) [2]. Cette approche, qui reste suffisante pour un diagnostic, ne per-

met, par contre pas d'évaluer la capacité portante du bâtiment surtout en vue d'un éventuel confortement. Pour pallier à cet inconvénient, nous avons jugé utile d'associer à cette approche analytique un module de mesure de la performance sismique du bâtiment par la méthode push over [3]. Le présent travail développe une méthodologie experte qui estime la vulnérabilité d'un bâtiment au regard de sa performance sismique.

2. LA MÉTHODE ANALYTIQUE

Cette méthode exige une analyse et un calcul détaillés de chaque élément structural. Ceci est difficile à appliquer à grande échelle, comme par exemple celle d'une ville, du fait de la grande quantité d'informations à saisir pour chaque bâtiment. Cet inconvénient majeur peut être contourné en utilisant un outil informatique d'aide à l'évaluation de la vulnérabilité [4]. L'évaluation des dommages exige des connaissances techniques et se fait généralement sur des fiches techniques de synthèse [5-8]. Pour chaque structure inspectée, cette évaluation technique affecte un niveau de dommages estimé globalement pour la structure à partir des observations recueillies à partir de l'environnement de la

structure (âge, état de conservation, régularité en plan, régularité en élévation, etc.), sur chacun des éléments structuraux (fondations, poutres, poteaux, voiles, dalles, toitures, etc.), sur chacun des éléments secondaires (cages d'escalier, balcons, cloisons, murs de remplissages, etc.) et par rapport aux facteurs pathologiques observés (niveaux flexibles, poutres fortes-poteaux faibles, poteaux courts, etc.). Cette évaluation de la vulnérabilité considère cinq niveaux de dommages : « 1 = vert clair » pour les très légers dommages (le bâtiment nécessite des réparations très légères et peut rester en service), « 2 = vert foncé » pour les dommages très réduits (le bâtiment nécessite des réparations mais ne présente aucun danger pour les occupants), « 3 = orange clair » pour des dommages significatifs (le bâtiment nécessite d'importantes réparations et doit être évacué), « 4 = orange foncé » quand les dommages sont importants (le bâtiment exige d'importantes travaux de confortement et doit être évacué) et « 5 = rouge » pour des dommages très importants (le bâtiment n'est plus en service et doit être démolé).

2.1. Le degré de dommage

En fonction des différents degrés de dommages que peuvent subir les constructions, une classification a été établie par l'organisme du contrôle technique algérien [9] voir tableau 1.

2.2 Le séisme

Une fois la méthode mise en œuvre, le diagnostic est synthétisé sous forme de verdict permettant d'appréhender les dommages attendus pour trois niveaux de séismes (faible, modéré et fort) auxquels correspondent trois niveaux d'accélération maximale du sol (0,1 g ; [0,2-0,3] g et 0,4 g).

2.3 Le sol

Chaque construction réalisée doit acheminer l'ensemble des efforts résultants au sol. De ce fait, une classification des sols en quatre catégories (rocheux, ferme, meuble et très meuble) donnée par le Règlement Parasismique Algérien 99 version 03 [10] est prise en compte par ce logiciel.

2.4 Identification du bâtiment

Cette identification concerne aussi bien les données générales sur le bâtiment que son implantation.

2.4.1. Données générales sur la construction

Ces données fournissent un descriptif de la construction et concernent :

Les caractéristiques générales

- propriétaire,
- destination,
- nombre de logements et nombre de commerces,
- nombre total d'occupants (< 300, > 300 ou > 500),
- classe d'importance socio- économique (1A, 1B, 2, 3).

Le descriptif sommaire

- nombre de niveaux N et nombre de sous-sols N_{ss} ,
- hauteur des niveaux h et hauteur du sous sol h_s ,
- surface totale au sol S,
- toiture (tuiles mécaniques, terrasse accessible, terrasse inaccessible).

Les informations sur la construction

- année de construction,
- construction calculée au séisme,
- construction vérifiée par le C.T.C.

L'état apparent de la construction. Cet état apparent doit être fourni selon le tableau 2.

Niveau des dommages	Description des désordres	Couleur
1	<i>Pas de dommages</i> Vitres cassées et meubles renversés	Vert clair
2	<i>Dommages légers</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fissures sur cloisons intérieures • Fissures dans les plafonds • Chute des gorges et rosaces 	Vert foncé
3	<i>Dommages modérés</i> <ul style="list-style-type: none"> • Importants désordres dans les éléments secondaires (balcons, cages d'escaliers, ...) • Fissures légères dans les éléments structuraux (les poteaux, les poutres, les dalles, les voiles...) 	Orange clair
4	<i>Dommages significatifs</i> <ul style="list-style-type: none"> • Très importants désordres non structuraux • Dégâts importants dans les éléments structuraux (éclatement des nœuds, rotules plastiques dans les poteaux et les poutres, fissures en X dans les voiles, éclatement des linteaux....) 	Orange foncé
5	<i>Bâtiment à démolir</i> <ul style="list-style-type: none"> • Disparition ou effondrement d'un étage • Inclinaison d'un bâtiment • Glissement et basculement d'un bâtiment • Dislocation d'éléments structuraux 	Rouge

Tableau 1: Les différents degrés de dommages.

État de conservation	Bon	Moyen	Mauvais
Désordres structuraux constatés	Fissuration	Éclatement du béton	Corrosion des armatures
Réhabilitation	Non		
	Oui	Nature des travaux réalisés	Année

Tableau 2 : État apparent de la construction.

2.4.2 Données sur l'implantation

Des données concernant le site (tableau 3) et l'environnement du bâtiment (tableau 4) doivent être fournies à l'ex-
pert :

Sol en surface	Rocher	Alluvions	Présence de sable	Ancien marais
	Sol rapporté	Ancienne décharge	Pas d'information	Autre
Type de sol	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Pente générale	Nulle	Faible < 10 %	Modérée 10 % < P < 40 %	Forte > 40 %
Rebord de crête	Abord des falaises	Sommet de crête	Bord de mer	Bord de faille
Présence d'eau	Oui Profondeur			Non

Tableau 3 : Données concernant le site d'implantation du bâtiment.

Bâtiment isolé	Oui	
Bâtiment accolé	Sur un côté	Épaisseur du joint
	Sur deux côtés	

Tableau 4 : Données sur l'environnement du bâtiment.

2.5. L'infrastructure

Le type de fondation (isolés, filantes, pieux, radier) doit être donné ainsi que ses dimensions et sa profondeur d'ancrage.

2.6. Facteurs pathologiques

Différents facteurs pathologiques sont pris en considération par ce système d'aide [11] :

- absence d'armatures transversales aux niveaux des nœuds ;
- éclatement des nœuds ;
- poteaux courts ;
- poteaux faibles et poutres fortes ;
- présence de niveaux ouverts ou transparents ;

- présence de niveaux décalés ;
- non homogénéité du système porteur ;
- non superposition des éléments porteurs ;
- élancement des éléments porteurs verticaux.

2.7. Mode d'emploi pour l'évaluation de la vulnérabilité

L'utilisateur note les coefficients de pénalité partiels qui sont susceptibles d'affecter le bâtiment étudié ; puis il effectue la somme des coefficients de pénalité retenus, soit Σk_i .

- Si $\Sigma k_i > 100$ Présomption très forte de vulnérabilité. (Dommage rouge 5) → Bâtiment à détruire
- Si $50 < \Sigma k_i < 100$ Présomption forte de vulnérabilité (Dommage orange 4) → Bâtiment à conforter
- Si $25 < \Sigma k_i < 50$ Présomption moyenne de vulnérabilité (Dommage orange 3) → Bâtiment à renforcer.
- Si $10 < \Sigma k_i < 25$ Présomption faible de vulnérabilité (Dommage vert 2) → Bâtiment à réparer et continuer à occuper
- Si $\Sigma k_i < 10$ Présomption très faible de vulnérabilité (vert 1) → Bâtiment à occuper sans aucun problème.

2.8. Développement du système interactif

2.8.1. Principe

La production d'un système interactif pour l'évaluation de la vulnérabilité, nous conduit à utiliser le langage UML [12], langage de développement orienté objet [13]. Ce langage de modélisation d'application informatique, s'appuie sur un cycle de développement itératif et incrémental en préconisant une démarche d'une part, centrée sur l'architecture logicielle, et d'autre part, guidée par les cas d'utilisation :

1. *Démarche itérative et incrémentale* : pour modéliser un système complexe, il est souhaitable de s'y prendre en plusieurs fois, en affinant son analyse par étapes. Cette démarche s'applique au cycle de développement dans son ensemble en favorisant le prototypage.
2. *Démarche pilotée par les cas d'utilisation* : ce sont les utilisateurs qui guident la définition des modèles. Les contours du système à modéliser sont définis par les besoins des utilisateurs. Ce que doit être le système. Les besoins des utilisateurs servent aussi de fil conducteur tout en long du cycle de développement itératif et incrémental, à chaque itération de la phase d'analyse, on clarifie, affine et valide les besoins des utilisateurs. A chaque itération de la phase de conception et de réalisation, on veille à la prise en compte des besoins des utilisateurs. A chaque itération de la phase de test, on vérifie que les besoins des utilisateurs sont satisfaits.
3. *Démarche centrée sur l'architecture* : une vision du système à réaliser suivant différents points de vue qui permettent de cerner un modèle d'architecture pour le système à réaliser :
 - a) La vue logique, de haut niveau, se concentre sur l'abstraction et l'encapsulation. Elle modélise les éléments et mécanismes principaux du système en

Implantation du bâtiment		Pente générale du terrain > 40%		Proximité d'un changement de pente D< 2H		
		5		15		
Environnement du Bâtiment		Bâtiment accolé : joint = 0 Ou rempli de matériau		Joints entre blocs <2cm 2<h>4 >4cm		
		25		25 10 5		
Type de structure	Poteaux – poutres sans remplissage	Poteaux – poutres avec remplissages légers	Poteaux – poutres avec remplissages dense.	Poteaux – poutres en charpente métallique avec remplissage.		
	20	25	30	15		
Forme en plan		Irrégulière		Elancement en plan L/l>4		Parties saillantes ou rentrantes
		5		5		5
Forme en élévation		Retraits en façade > 40%	Variation de rigidité > 25%	Absence de diaphragme en toiture	Présence d'un plancher lourd	Décalage de planchers
		20	25	10	10	20
Contreventement		Variation verticale croissante des rigidités 0 à 100 [7]	Dissymétrie Torsion $e_x > 5\% L_y$ $e_y > 5\% L_x$	Absence de contreventement	Nombre de files porteuses	
			50	100	50	
Facteurs pathologiques	Présence de poteaux élancés	Présence de poteaux courts	Descente de charge en baïonnette	Absence de chaînage	Poutres et poteaux non concourants	Surface des ouvertures dans les planchers > 20% De la surface totale
	10	50	25	Vertical 25 Horizontal 75	10	10
Divers		Etat de conservation du bâtiment		Risque de chute d'éléments secondaires		Bâtiment déjà repris
		Médiocre 10 Mauvais 25		5		25

Tableau 5 : Hiérarchisation des coefficients de pénalité.

identifiant les éléments du domaine ainsi que les relations et interactions entre ces éléments.

- La vue des composants, de bas niveau, appelée également vue de réalisation, montre l'allocation des éléments de modélisation dans des modules (fichiers sources, bibliothèques dynamiques, bases de données, exécutables, ...). Cette vue identifie les modules qui réalisent les classes de la vue logique.
 - La vue des processus montre la décomposition du système en termes de processus (tâches), les interactions entre processus (leur communication), la synchronisation et la communication des activités parallèles.
 - La vue de déploiement décrit les ressources matérielles et la répartition du logiciel dans ces ressources.
 - La vue des besoins des utilisateurs, appelée la vue des cas d'utilisation, définit les besoins des clients du système et centre la définition de l'architecture du système sur la satisfaction de ces besoins. A l'aide de scénarios et de cas d'utilisation, cette vue conduit à la définition d'un modèle d'architecture pertinent et cohérent.
4. Démarche d'élaboration du projet : à partir de la définition des besoins (évaluation de la vulnérabilité), nous

identifions les acteurs (expert, utilisateurs) et les activités correspondantes desquels nous déduirons les cas d'utilisation pour la modélisation des différentes interactions entre les acteurs et l'application.

Ces cas d'utilisation permettent d'établir un ensemble de scénarios d'utilisation standard à l'aide de diagrammes de séquences [13]. Ceux-ci sont utilisés pour réaliser le passage des cas d'utilisation à la modélisation objet par le diagramme de classes [13], qui fournit quasiment l'état final du domaine modélisé avant le passage à la génération des squelettes de composants.

Nous pouvons ainsi décrire l'architecture en couches du système.

2.8.2. Analyse et conception

2.8.2.1. Le diagramme de contexte

Le diagramme de contexte définit les contours du système à étudier et visualise les sous-systèmes issus de la décomposition du domaine d'application :

- Sous-système d'évaluation de la vulnérabilité des constructions,
- Sous-système de diagnostic et de confortement des constructions vulnérables.

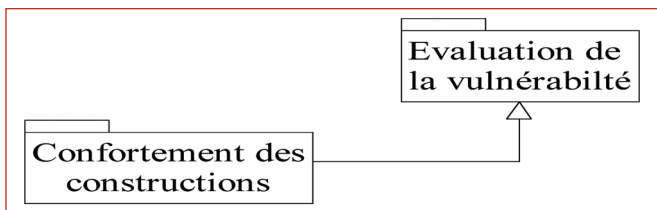


Figure 1: Diagramme de contexte.

Le diagramme de contexte (Figure 1) illustre cette décomposition en utilisant le formalisme UML.

Après analyse des besoins (évaluation de la vulnérabilité), les cas d'utilisation identifiés sont représentés dans le diagramme de cas d'utilisation général (Figure 2) :

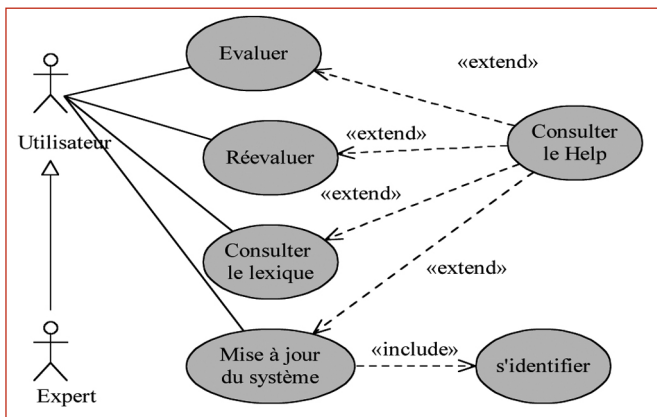


Figure 2: Diagramme de cas d'utilisation général.

2.8.2.2. Le diagramme de classes

En définitive, la gestion de la persistance des données nous conduit à définir un modèle de données, qui s'appuie sur le formalisme de représentation de bases de données relationnelles.

En appliquant les règles de passage définies par J. Rumbaugh du diagramme de classes aux tables relationnelles, on obtient les tables décrites comme suit :

- Matériaux (co_matériau, désignation).
- Scv (co_scv, désignation, définition, graphique, co_matériau).
- Paquet (co_paquet, désignation).
- Pacv (co_scv, nbre_fpathos, nom_paquet).
- Séisme (co_séisme, désignation, val_miner, valmaxer, accélération).
- Zone (co_zone).
- Sol (co_sol, désignation, Qc, Vs, Pi, Ep, Qu, N).
- État de conservation (co_conservation, désignation).
- Dommage (co_dommage, valmin, valmax, désignation, graphique, croix dommage).
- Facteur (co_facteur, désignation, définition, graphique, co_paquet).
- Seietatc (code_séisme, code_etatc, valpenal).
- Scvfszd (co_scv, co_facteur, co_séisme, co_zone, degremin, degremax).

2.8.2.3. Réalisation

La réalisation est la dernière étape du cycle de développement orienté objet. Elle est consacrée à l'implémentation des modèles conceptuels, en utilisant l'environnement RAD (Rapid application Développement) C++ Builder [14].

3. LA MÉTHODE PUSH OVER

La méthode Push over est une méthode statique non linéaire basée sur la courbe de capacité sismique qui est, essentiellement, comparée à la demande sous la forme d'une réponse spectrale [15]. Cette méthode qui est une

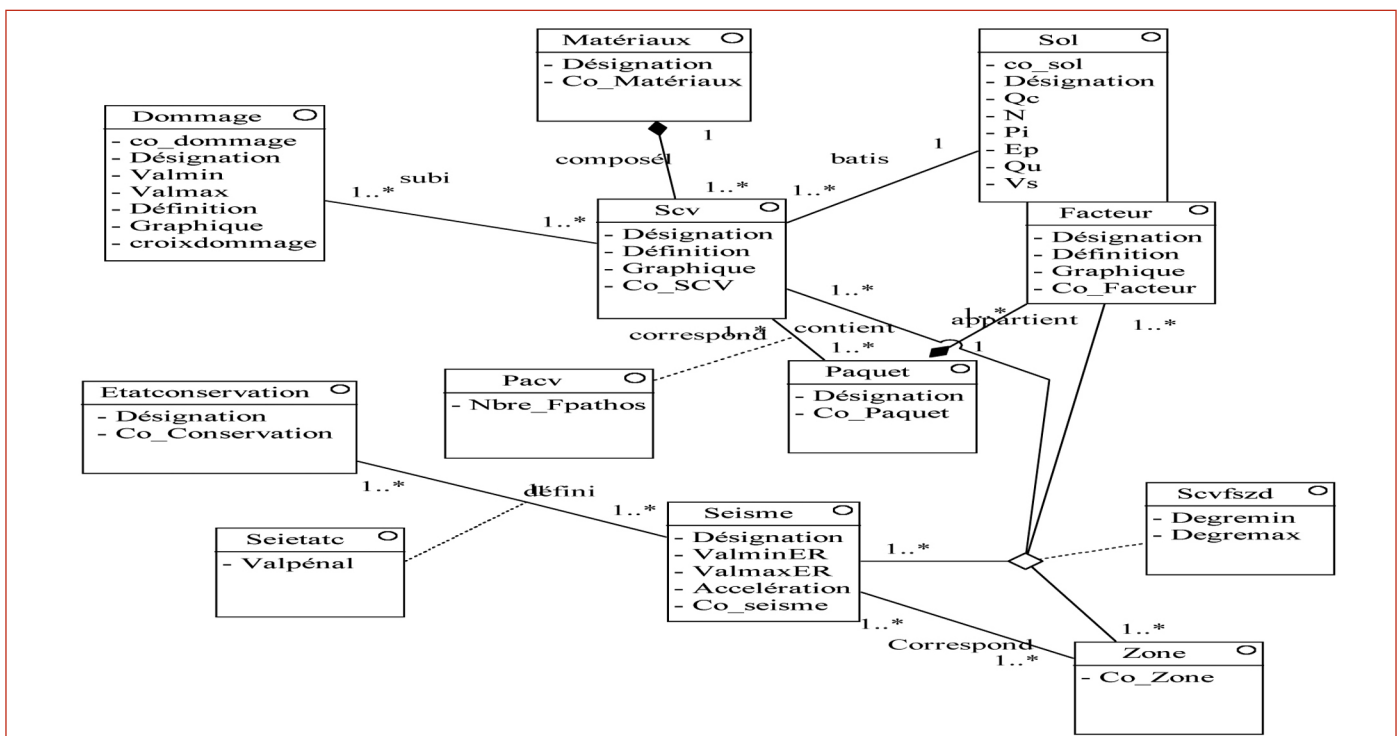


Figure 3 : Diagramme de classes d'analyse.

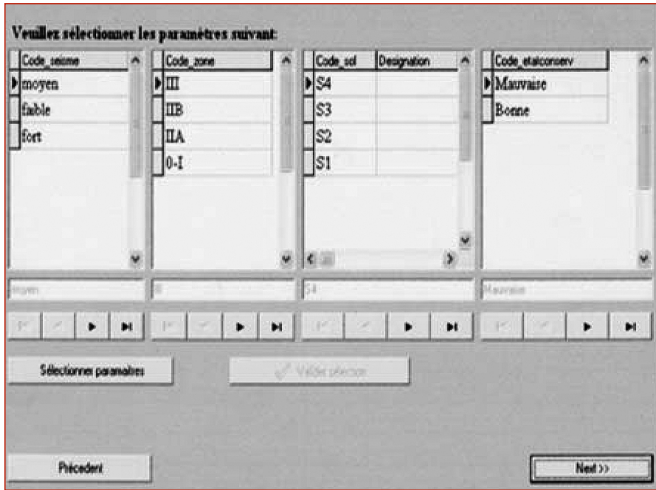


Figure 4 : Écran évaluer la vulnérabilité.

analyse pseudo-statique non linéaire permet de définir le point de performance de la structure. Cette méthode push over itérative nécessite [15] :

- La demande sous forme d'une réponse spectrale qui sera, dans notre cas, dérivée du règlement parasismique algérien (RPA99).
- La capacité sismique sous forme d'une courbe de capacité non linéaire, obtenue à partir de la technique « push over »,
- Un point de performance qui correspond à l'égalité entre la demande et la capacité sismique. Ce point correspond à un état unique de dommages et d'énergie dissipée, qui s'obtient par deux procédures itérative et non itérative.

3.1. La demande spectrale

La demande spectrale a été dérivée du règlement parasismique Algérien (R.P.A.99 version 2003) et elle s'écrit sous la forme suivante :

$$S_a = \begin{cases} 1.25 A_z g \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \eta (1.25 A_z g) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \eta (1.25 A_z g) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5 \eta (1.25 A_z g) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases} \quad (I.1)$$

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone.
D : Facteur d'amplification dynamique moyen.
 η : Facteur de correction d'amortissement.
R : Coefficient de comportement.
Q : Facteur de qualité.
T1, T2 : Périodes de transition.

Coefficients
définis par le
RPA 99
versions 2003

Dans la représentation standard des codes parasismiques, chaque point du spectre de réponse élastique est représenté dans un diagramme $S_a = f(T)$, pour un amortissement de type visqueux (ξ) avec :

S_a : Accélération spectrale.
T : Période de d'oscillation.

Chacun des points définis précédemment $S_{ai} = f(T_i)$ sont transformés dans un autre repère $S_a = g(S_d)$, où (S_d) est le déplacement spectral donné par la relation [I.2] [16] (Figure 5).

$$S_d = \frac{T^2 \cdot S_a}{4 \cdot \pi^2} \quad (I.2)$$

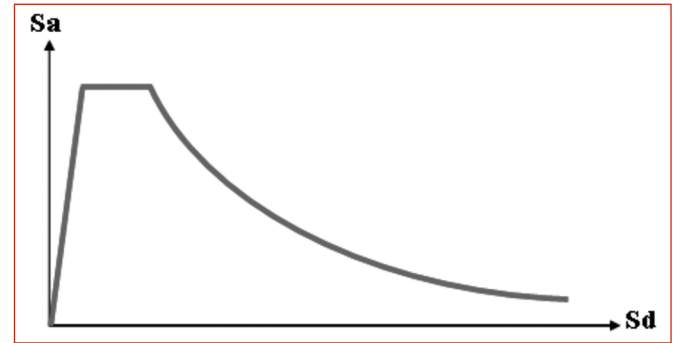


Figure 5 : Spectre de réponse en format ($S_a - S_d$).

3.2 La capacité sismique

La courbe de capacité est obtenue en appliquant une force latérale d'une manière incrémentale jusqu'à l'obtention du déplacement maximum du bâtiment (figure 6). Les forces incrémentales F_i sont données par la relation (I.3) [17].

$$F_i = \frac{m_i \phi_i}{\sum m_i \ddot{O}_i} \cdot V_b = \frac{m_i h_i}{\sum m_i \cdot h_i} \cdot V_b \quad (I.3)$$

Avec $\begin{cases} m_i \text{ est la masse concentrée.} \\ \phi_i \text{ est la déformée de l'étage (i).} \\ V_b \text{ est l'effort tranchant à la base du bâtiment.} \\ h_i \text{ est la hauteur de l'étage (i).} \end{cases}$

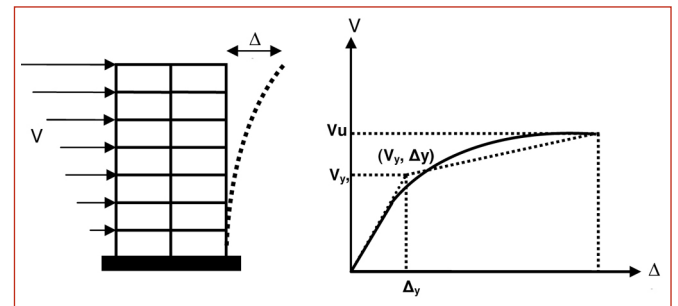


Figure 6 : Courbe de capacité sismique.

3.3 Définition du point de performance par la procédure itérative

Le point de performance est obtenu grâce à l'approche élastique classique, qui consiste à trouvé dans un premier temps le point d'intersection de la demande spectrale à (5 %) d'amortissement avec la tangente à l'origine de la courbe de capacité correspondant au déplacement spectral (S_{di}) et la projection verticale de ce point fictif sur la courbe de capacité donnera le premier point de performance A de coordonnées (S_{dp1} , S_{ap1}). En ce point le déplacement élastique est égal au déplacement inélastique (voir figure 7) [15] et [18].

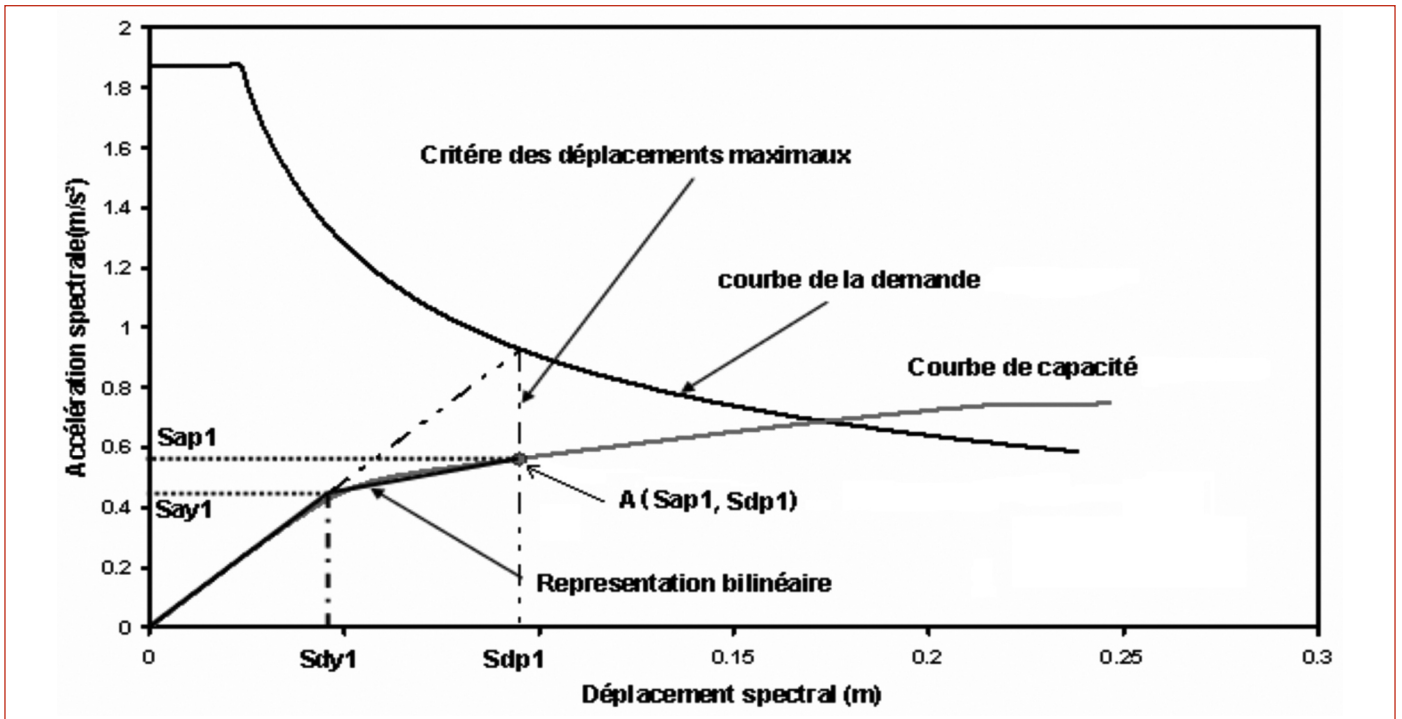


Figure 7: Obtention du point de performance par la méthode itérative.

Les autres étapes de calcul sont :

1. une représentation bilinéaire est développée à partir du point A (S_{ac} , S_{dc}) telle que l'aire sous le spectre de capacité soit le même que celui sous la courbe bilinéaire. cette représentation permet de définir les limites élastiques (S_{ay1}) et (S_{dy1}) [15] ;
2. le calcul de l'amortissement effectif est obtenu par l'équation (I.4) [15-17] :

$$\xi_{eff} = 5 + 63,7 K \left(\frac{S_{ay} \cdot S_{dp1} - S_{dy} \cdot S_{ap1}}{S_{ap1} \cdot S_{dp1}} \right), \text{ exprimé en \% (I.4)}$$

Avec $\begin{cases} K: \text{Coefficient de capacité de dissipation d'énergie.} \\ S_{ay}: \text{limite élastique en accélération.} \\ S_{dy}: \text{limite élastique en déplacement} \end{cases}$

3. Calcul des coefficients de réduction spectraux S_{RA} et S_{RV} [15-17] :

$$S_{RA} = \frac{3,21 - 0,68 \ln(\xi_{eff})}{2,12} \quad (I.5)$$

$$S_{RV} = \frac{2,31 - 0,41 \ln(\xi_{eff})}{1,65} \quad (I.6)$$

Les valeurs minimales de S_{RA} et S_{RV} sont données [18].

4. Le spectre de la demande sismique à 5% d'amortissement est réduit par les coefficients de réduction spectraux S_{RA} et S_{RV} . L'intersection du spectre réduit avec le spectre de capacité, définit le deuxième point de performance B (S_{ap2} , S_{dp2}), (Figure 8) [15-18].
5. Cette étape consiste à comparer le deuxième point de performance en terme de déplacement au premier point

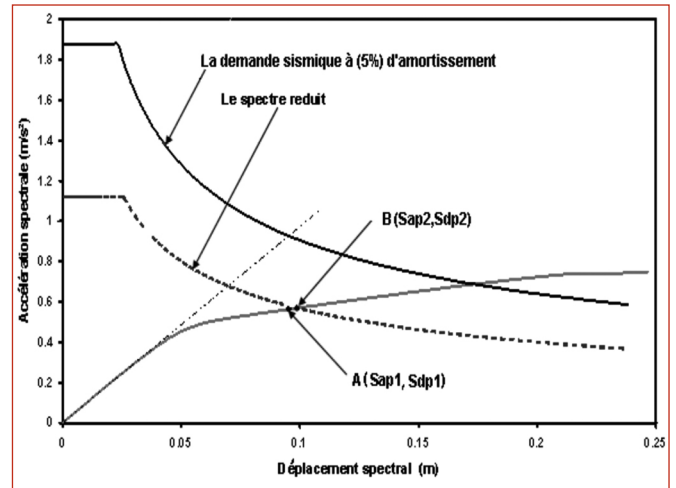


Figure 8: Détermination du deuxième Point de Performance.

de l'essai qui lui est affecté par un coefficient de 0,07 qui représente la tolérance pour l'estimation du premier point donnée par la condition suivante [15-18].

$$S_{dp2} \leq 20,07 \times S_{dp1} + S_{dp1} \quad (I.7)$$

Si la condition (I.7) est vérifiée, alors le deuxième point (B) est le point de performance. Si non, un nouveau point C (S_{ap3} , S_{dp3}) doit être choisi tel que :

$$\begin{cases} S_{ap3} = S_{ap2} + \Delta S_{ap} \\ S_{dp3} = S_{dp2} + \Delta S_{dp} \end{cases} \quad (I.8)$$

Le processus ainsi développer est répété de l'étape 03 jusqu'à la satisfaction de la condition (I.7).

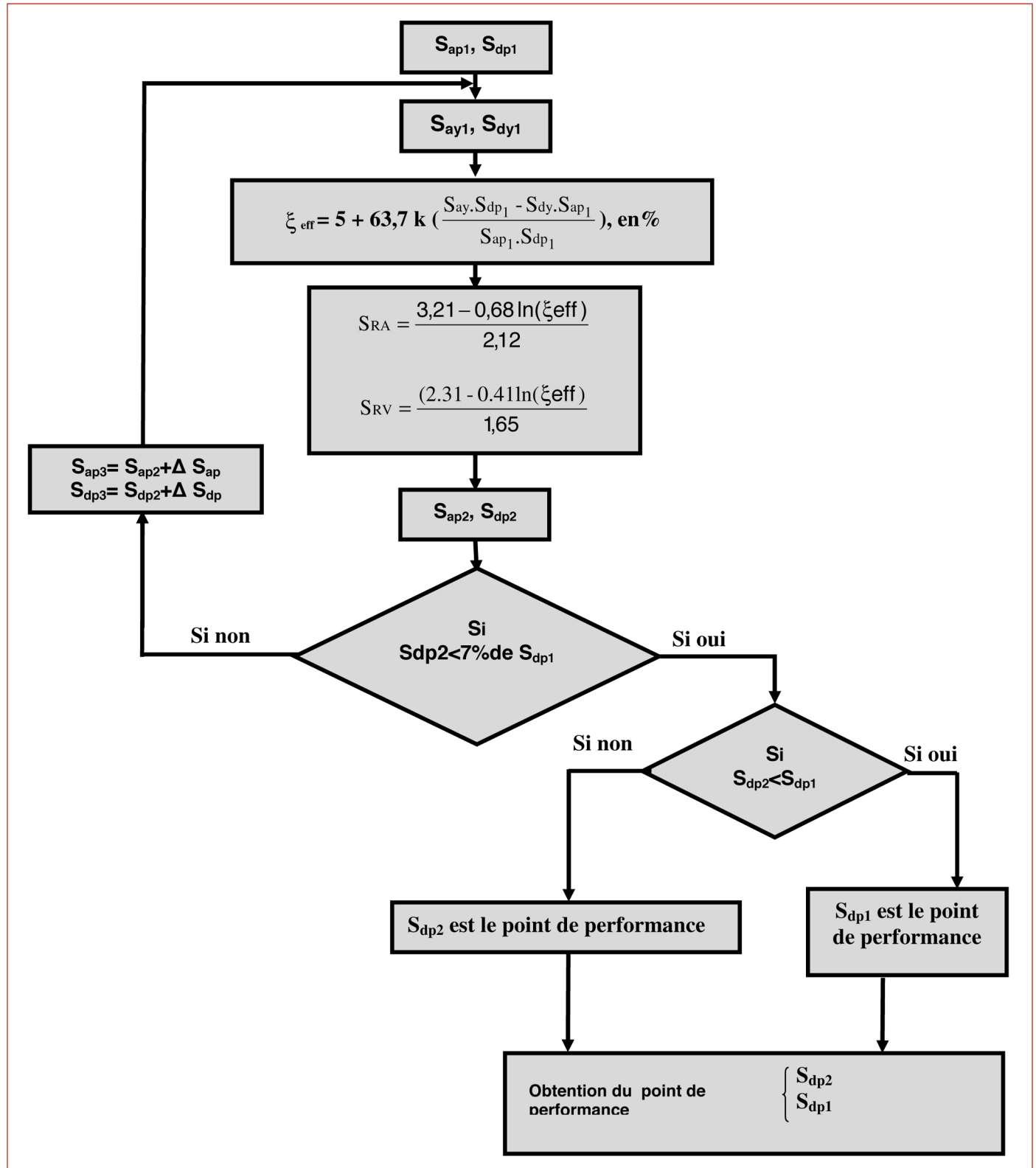
6. Dans cette étape on doit vérifier si le deuxième point n'est pas inférieur au premier point. Si c'est le cas alors S_{dp1} est le point de performance, dans le cas contraire le point de performance sera égal à S_{dp2} [18].

Cette méthode itérative est alors facilement programmable pourvu qu'il y ait compatibilité entre les amortissements de la demande et ceux de la capacité.

3.4. Organigramme de la procédure itérative

4. APPLICATION DE LA MÉTHODE DE PERFORMANCE SUR UN BÂTIMENT IMPLANTÉ À DRAA – BEN- KHEDDA WILAYA DE TIZI-OUZOU.

La méthode ainsi développée a été appliquée sur un bâtiment implanté à Draa – ben – Khedda Wilaya de Tizi-



Organigramme de calcul du point de performance par la méthode itérative.

Ouzou touché par le séisme du 21 mai 2003. Les désordres occasionnés à cet immeuble sont multiples :

- éclatement des poteaux, surtout ceux de la périphérie à coté du joint sismique (Figure 9) ;
- éclatement des nœuds (jonction poteau-poutre) ;
- fissuration des doubles cloisons extérieures en X (Figure 9) ;
- dislocation de la cage d'escalier et éclatement des revêtements (Figure 10) ;
- destructions des vasistas de la cage d'escalier (Figure 11) ;
- effondrement et fissurations des cloisons de séparation intérieure (Figure 12).

L'étude de la vulnérabilité et de la performance sismique a été réalisée sur un seul bloc du bâtiment montré à la figure 9. Nous avons évalué les dommages par le système informatique d'aide à l'évaluation de la vulnérabilité en supposant un séisme modéré comme celui ayant affecté la région de Boumerdès et le diagnostic est (O4) correspondant exactement aux désordres recensés par le C.T.C. centre. La performance sismique avant et après confortement du Bâtiment (Figures 13 et 14) a été ensuite entreprise. La performance sismique du bâtiment a été évaluée en utilisant la procédure itérative dans les deux sens XX et YY avant et après confortement (Figures 15 et 16). Les dommages ainsi que les points de performance en fonction des accélérations dans les deux directions XX et YY sont présentés par les figures 17 et 18.



Figure 9: Façade principale du bâtiment étudié.



Figure 10: Dislocation de la cage d'escalier et éclatement des revêtements.



Figure 11: Destruction des vasistas de la cage d'escalier.



Figure 12: Effondrement et fissuration des cloisons.

Dans un premier temps, le système d'aide à l'évaluation de la vulnérabilité semble prédire avec beaucoup de rigueur la présomption de vulnérabilité du bâtiment. Le diagnostic trouvé par le système d'aide pour un séisme modéré coïncide exactement avec la décision du C.T.C. centre (O₄). Nous remarquons que la demande en déplacement a diminuée et que la capacité portante s'est améliorée de 20 %. Ceci confirme que le niveau de conception parasismique du bâtiment s'est amélioré après le confortement. Le niveau des dommages est passé d'O₄ à O₃ (de dommages importants à dommages significatifs). Pour améliorer le comportement sismique de ce bâtiment, il ya lieu de mettre d'autres voiles ou bien de procéder en plus au renforcement par chemisage des poteaux.

5. CONCLUSIONS

Les ingénieurs experts qui ont la responsabilité d'évaluer les dommages structuraux subis par les bâtiments suite à un séisme et de décider quel type de confortement mettre en place, doivent surmonter plusieurs problèmes à la fois :

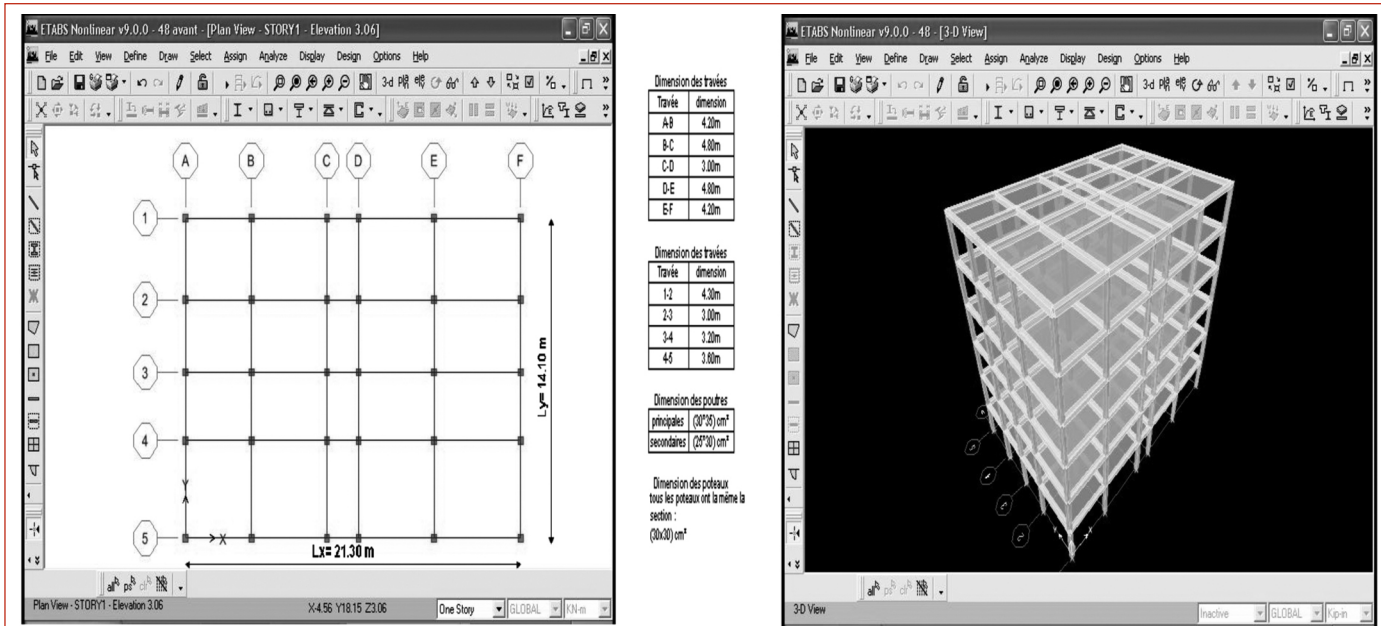


Figure 13: Vue en 3D et coupe en plan du bâtiment avant confortement.

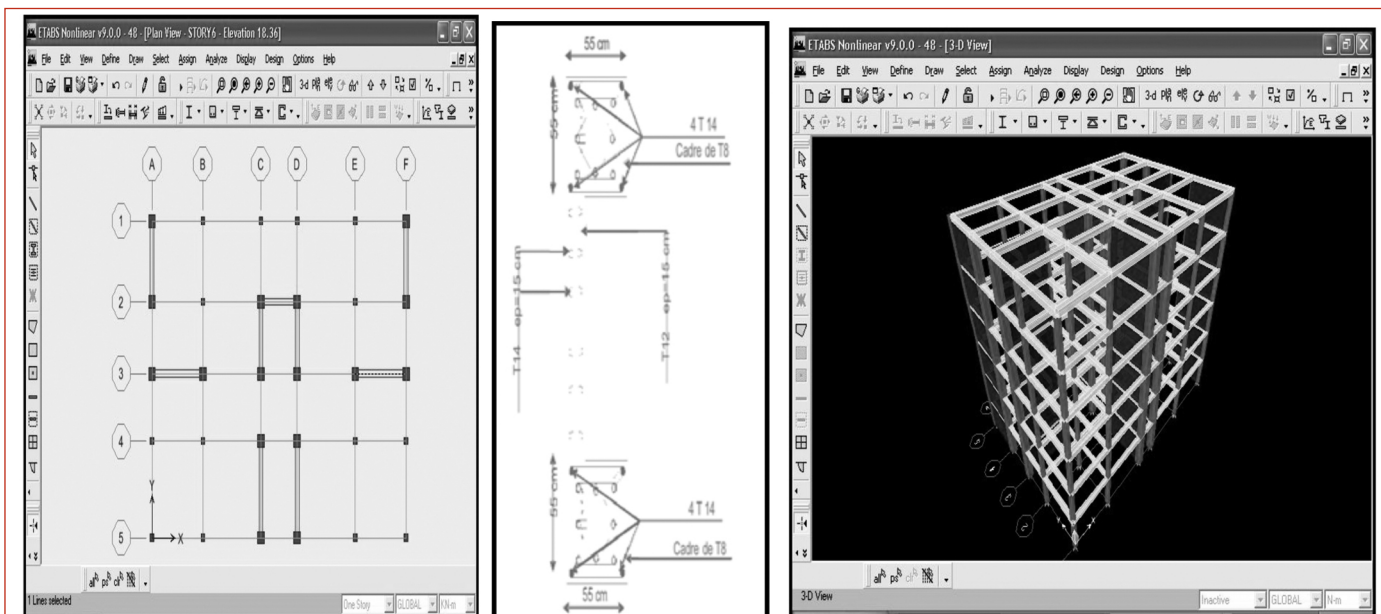


Figure 14: Vue en 3D et coupe en plan du bâtiment après confortement.

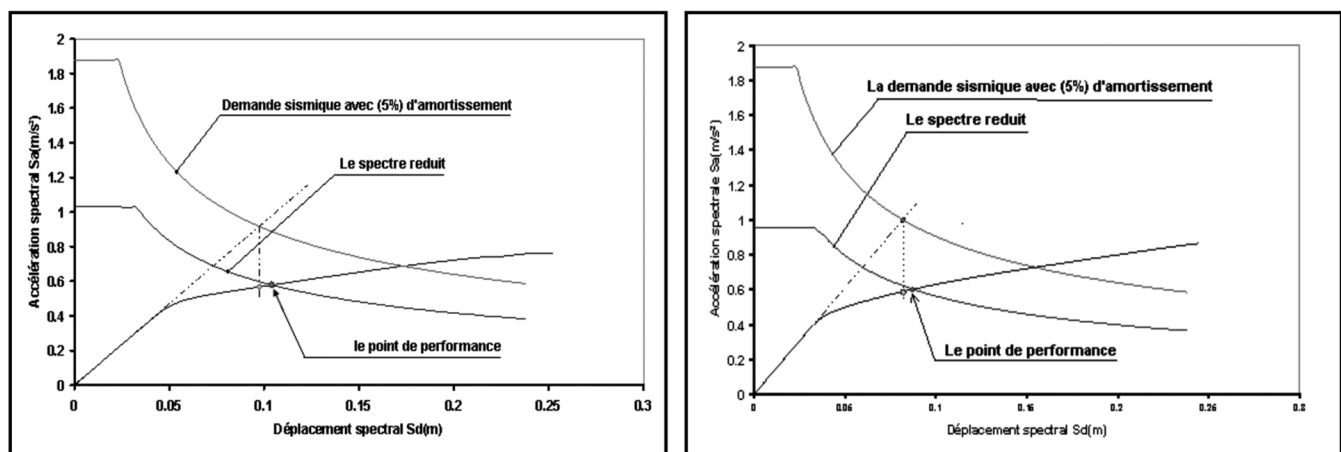


Figure 15: Détermination des points de performance du bâtiment dans les directions XX et YY, méthode itérative avant confortement.

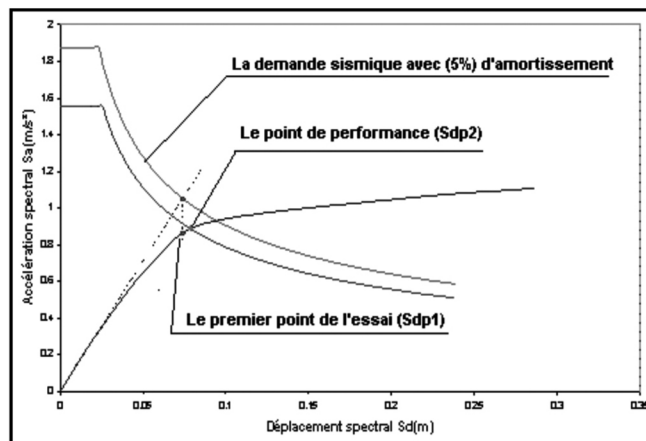
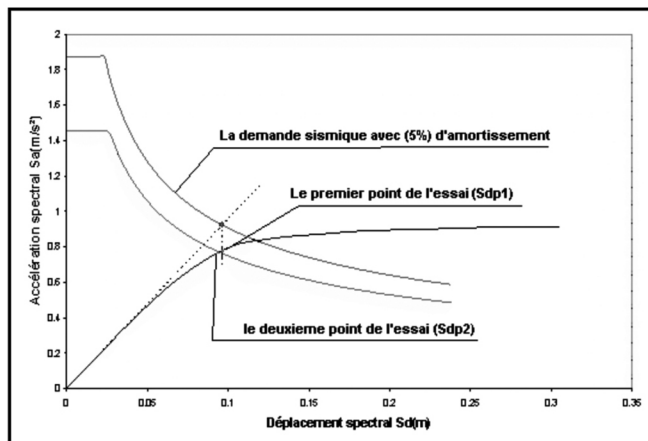


Figure 16: Détermination des points de performance du bâtiment dans les directions XX et YY, méthode itérative après confortement.

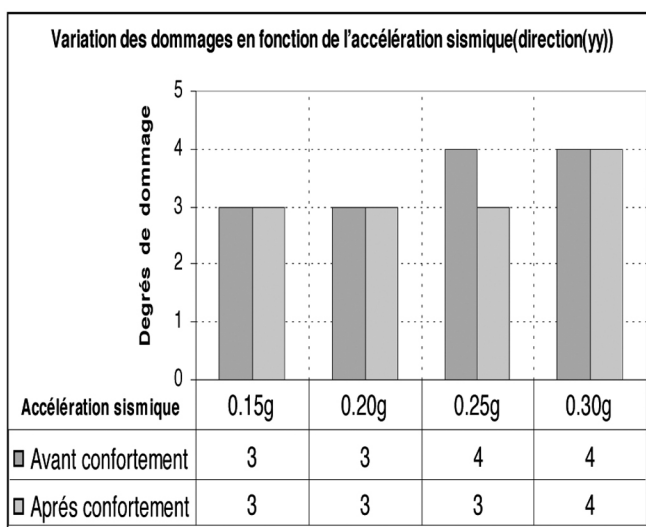
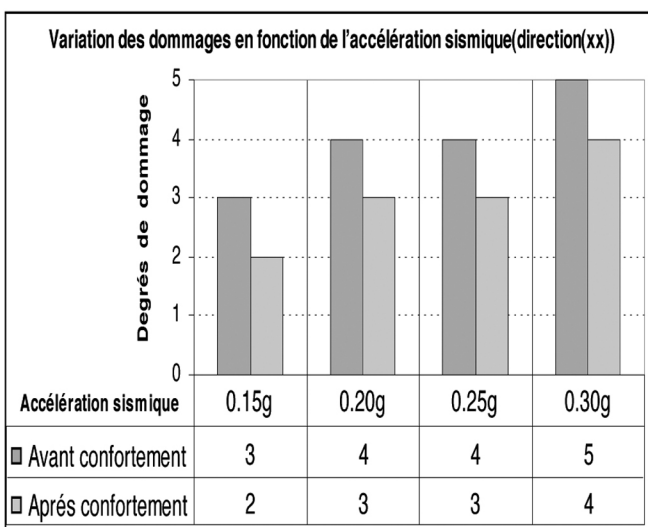


Figure 17: Variation des dommages en fonction de l'accélération sismique dans les directions XX et YY avant et après confortement.

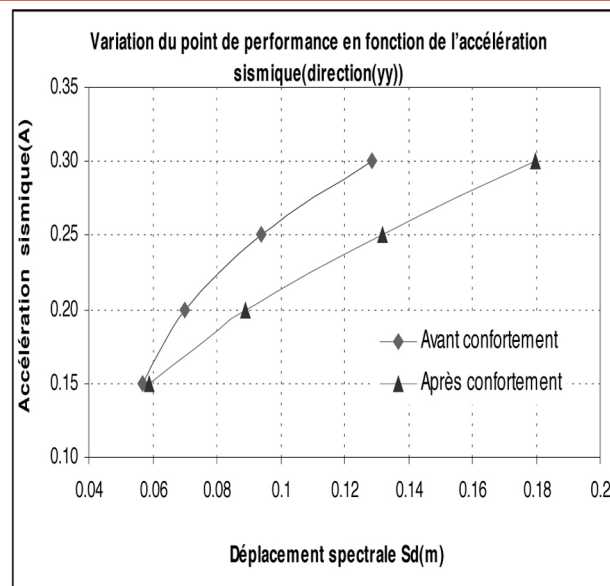
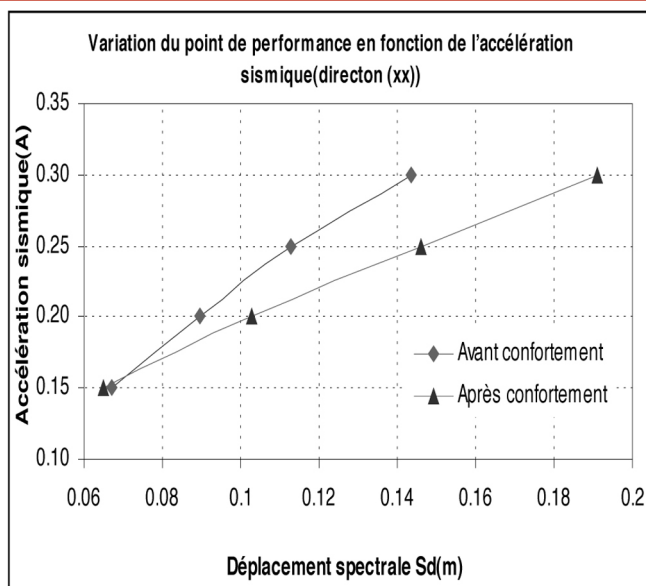


Figure 18: Variation du point de performance en fonction de l'accélération sismique dans les directions XX et YY avant et après confortement.

manque de temps, taille de la zone épacentrale, nombre de données à gérer et évaluation elle-même (selon le niveau estimé, on peut passer de légères réparations à une démolition du bâtiment).

Face à la problématique posée et du point de vue de la vulnérabilité, il était urgent d'envisager une procédure automatique de diagnostic à travers un système d'aide à l'évaluation de la vulnérabilité basé sur les règlements en vigueur. Son exploitation s'adapte bien aux types de constructions, prend en compte les différents matériaux, le système de contreventement, l'intensité du séisme, les facteurs pathologiques constatés et le type de sol. Pour corroborer les résultats obtenus par le système d'aide et évaluer le confortement à envisager, un point de performance est évalué à chaque étape (avant et après confortement) grâce à la méthode push over itérative.

Ce travail d'approche permet d'apporter des réponses claires et rigoureuses vis-à-vis de l'évaluation de la vulnérabilité, et d'appréhender le confortement ou la réparation des structures endommagées par des séismes.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Benedetti D., Petrinin V.** 1984. Sulla vulnerabilità sismica degli edifici muratura : proposta di un metodo di valutazione, l'industria della costruzioni 18, 66-74.
- [2] **Belazougui M., Remas A.** 1998. Mascara : évaluation des dommages pathologiques constatés et enseignement à tirer, Journée d'étude « prévention et actions post-sismiques », CGS, novembre 1998. Pp 73-74.
- [3] **Reinhorn, A.M. and Valles, R.E.** 1995. Damage evaluation in inelastic response of structures: a determinate approach. Technical report NCEER 95, State University of New York at Buffalo. U.S.A.
- [4] **Hamizi, M., Rassoul, I. et Hannachi, N.E.** Conception et réalisation d'un système d'évaluation de la vulnérabilité du bâti existant en Algérie. Annales Du Batiment Et Des Travaux Publics. Editions ESKA. Avril 2008, n°2.
- [5] **Anagnostopoulos S., Moretti M.** 2006, post-earthquake emergency assessment of building damage, safety and usability, part I: Technical issues. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, Available online.
- [6] **Applied Technology Concil (ATC)** 1995, Addendum to the ATC 20 Post earthquake building safety evaluation procedure, ATC 20-2, Redwood City, California.
- [7] **Azouz H., Adib A., Rebzani B.** 2005, Boumerdès 2003 : leçon d'un séisme. Report SGP GENEST, Alegria.
- [8] **Goretti A., Di Pasquale G.** 2002, an overview of Post-Earthquake Damage ASSESSMENT IN Italy. Proc. Of EERI Invitational Workshop "An action plan to develop earthquake damage and loss data protocols", September 19-20, California, pp. 16-18.
- [9] Fiche d'évaluation des désordres. Elaborée par le C.T.C. (Organisme de contrôle des ouvrages).
- [10] Le règlement Parasismique Algérien (R.P.A) 1999 Addenda 2003
- [11] **M. Hamizi, N.E Hannachi et L. Bouzid.** Méthodologie de l'évaluation de la fonction de vulnérabilité et du risque sismique pour les structures en poteaux – poutres. Etude de cas : Wilaya de Boumerdès Algérie. 8^e Congrès de Mécanique 17 -18 avril 2007, El Jadida Maroc.
- [12] **Rumbaugh, J., Jacobson, I. and Booch, G.** The Unified Modelling Language. Reference Manual, Addison-Wesley, 1999
- [13] **Muller, P.A.** Modélisation objet avec UML, Eyrolles, 1997.
- [14] **M. Hamizi, Hannachi N.E. et Rassoul I.** AFGC « Un outil d'aide à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti existant » Cycle de vie des ouvrages : une approche globale 18 et 19 mars ESTP – Cachan
- [15] **Belmouden Y.** Analyse spectrale itérative des oscillateurs simples sous l'action sismique.
- [16] **Tzad N.R and Bhatiaz, L.H.** Performance based seismic engineering.
- [17] **Belmouden Y. et Lestuzzi P.** Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse (EPFL).
- [18] **Mouroux P.** La méthode de point de performance (ATC 40). Principes de base et utilisation pratique.