

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة السكن والعمران والمدينة
Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville

Centre National d'Etudes et de
Recherches Intégrées du Bâtiment



المركز الوطني للدراسات
والأبحاث المتكاملة للبناء

FICHE DE PROJET DE RECHERCHE

Identification

Intitulé du projet	Analyse non linéaire pour l'évaluation des performances des ouvrages en béton armé contreventés par voiles élancés
Code	21/ANLPBV/S
Durée du projet	24 mois
Date de démarrage	Juin 2021

Equipe de recherche

N°	Chercheur	Grade
01	M. BENTAFAT Rachid	Chargé de Recherche, Chef de Projet

Objectif

Le manque des méthodes pour le ferrailage des voiles élancés sous charges cycliques en Algérie conduit automatiquement à appliquer la méthode liée aux contraintes inscrites dans le DTR BC-2-48 « Règles Parasismiques Algérienne RPA99/Version 2003 », qui sont cependant considérées inadéquates à cause du caractère non linéaire du comportement. Les voiles élancés fortement soumis à une action cyclique, du fait du caractère élasto-plastique du béton armé, subissent des dégradations qui apparaissent soit progressivement soit brutalement en diverses parties de bâtiment causant l'endommagement, d'où s'ensuit une redistribution des efforts et amplification du déplacement global. La rigidité globale d'un bâtiment est modifiée et les performances dépendent du comportement de chaque voile. La dégradation est plus sensible au "déplacement" qu'à "l'effort", car la ruine est plus liée à une atteinte de la limite en déformation qu'au dépassement d'une limite en effort. Par conséquent, l'utilisation de l'analyse linéaire par spectre de réponse devient insuffisante. L'évaluation des performances des voiles élancés par la méthode d'analyse dynamique non linéaire est primordiale pour sa capacité à prédire le comportement réel. Son inclusion dans les codes de conception moderne tel que l'Eurocode 8 et éventuellement dans les RPA est un atout majeur pour son utilisation dans des applications pratiques.

Ce thème de recherche traite les voiles élancés en béton armé et qui sont ferrailés selon les recommandations du DTR BC-2-48 « Règles Parasismiques Algérienne RPA99/version 2003 » et vise l'évaluation de leurs performances par des modèles numériques selon les critères d'acceptabilité sous charges cycliques.

Sommaire de la Phase N°1**1. Chapitre 1**

- 1.1 Introduction
 - 1.2 Naissance du règlement parasismique en Algérie
 - 1.3 Règles Parasismiques Algérienne « RPA1981 Version 1983 »
 - 1.4 Voiles de contreventement
 - 1.4.1 Dispositions générales
 - 1.5 Dimensionnement des voiles de contreventement suivant le RPA
 - 1.6 Ferrailage des voiles
 - 1.6.1 Introduction
 - 1.6.2 Combinaison d'action
 - 1.7 Exigences de RPA 99/V2003
 - 1.7.1 Armatures horizontales
 - 1.7.2 Armatures verticales
 - 1.7.3 Règles communes
 - 1.8 La méthode de calcul
 - 1.8.1 Détermination de la section des aciers
 - 1.9 Traitement des voiles par l'EC8
- Détermination des sollicitations de calcul
- 1.10 Moments de flexion sollicitant
 - 1.11 Moments de flexion sollicitants
 - 1.12 Effort tranchant sollicitant les murs
 - 1.13 Effort normal sollicitant les murs
 - 1.14 Vérifications de résistance des murs
 - 1.15 Dispositions constructives pour la ductilité locale
 - 1.16 Zones confinées de rive
 - 1.17 Influence des modes supérieurs sur le comportement sismique des voiles élancés
 - 1.18 Mode de ruine de voiles selon l'approche EC8 PS92
 - 1.19 Modes de rupture des voiles sous charges sismiques
 - 1.19.1 Dommages et implications pour la conception sismique des bâtiments endommagés par le séisme du CHILI en 2010.
 - 1.20 Conclusion

2. CHAPITRE 2

- 2.1 Introduction
- 2.2 Comportement non linéaire
- 2.3 Modèles de comportement non linéaire
 - 2.3.1 Modèle Elasto-Plastique Bilinéaire
 - 2.3.2 Modèle «Q»
 - 2.3.3 Modèle de TAKEDA
- 2.4 Comportement élasto-plastique
- 2.5 Comportement de durcissement de la résistance
- 2.6 Comportement de pincement « pinching »
- 2.7 Dégradation cyclique de la résistance
- 2.8 Enveloppe cyclique
- 2.9 Comportement Mécanique Du Béton Et Critères De Ruptures
- 2.10 Comportement mécanique du béton
- 2.11 Comportement uni axial du béton
 - 2.11.1 Comportement en compression

- 2.11.2 Comportement en traction
- 2.12 Comportement biaxial du béton
- 2.13 Principes de modélisation
- 2.13.1 Modèles macroscopiques (ou modèles globaux)
- 2.14 Le modèle à base d'éléments fibres (Fiber-Based Model)
- 2.15 Modèles en treillis (ou modèles bielles-et-tirants)
- 2.16 Modèles à éléments verticaux linéiques
- 2.16.1 Modèle à trois éléments verticaux linéiques
- 2.16.2 Modèle multiéléments verticaux linéiques
- 2.17 Modèles microscopiques
- 2.17.1 Modèles à fibres
- 2.17.2 Modèles multicouche
- 2.18 Modèles de béton
- 2.18.1 Modèle constitutif de Kent et Park (1971)
- 2.18.2 Modèles de Chang et Mander (1994)
- 2.19 Comportement en compression
- 2.20 Comportement en traction
- 2.21 Modèle de fibre constitutif du béton
- 2.22 Modèle IS456(2000)
- 2.23 Modèle de Clough (CM)
- 2.24 Modèles de l'acier
- 2.25 Modèle de MINEGOTTO-PINTO
- 2.26 Conclusion

3. CHAPITRE 3

- 3.1 Introduction
- 3.2 Objectifs et concept de l'analyse non-linéaire des voiles
- 3.3 Aperçu des contributions
- 3.3.1 Analyse des modèles de macro-éléments pour des voiles
- 3.3.2 Le modèle macro element par treillis non linéaire
- 3.3.3 Autres modèles macro conceptuellement différents
- 3.3.4 Effets multidirectionnels sur les voiles
- 3.3.5 Observations post sismiques sur les voiles endommagés
- 3.3.6 Problématiques du modèle numérique dans le domaine non linéaire
- 3.4 Remarques
- 3.5 Modes de rupture des voiles
- 3.5.1 Modes de rupture des voiles élancés
- 3.5.2 Ruptures en flexion-effort tranchant
- 3.5.3 Modes de rupture des voiles courts
- 3.6 L'effet des modes supérieurs sur le comportement dynamique des voiles élancés
- 3.7 Comportement ductile des murs de cisaillement couplés
- 3.8 Preuve de la ductilité des voiles couplés
- 3.9 Mode de ruine des poutres de couplage
- 3.10 Conclusion

4. Références

- 4.1 Bibliographie Chapitre 1**
- 4.2 Bibliographie Chapitre 2**
- 4.3 Bibliographie Chapitre 3**

Sommaire de la Phase N°2

PREAMBULE

Chapitre 1

- 1.1 Introduction
- 1.2 Traitement des voiles par l'EC8
 - 1.2.1 Détermination des sollicitations de calcul.
- 1.3 Redistribution entre murs des sollicitations calculées par l'analyse élastique.
- 1.4 Moments de flexion sollicitant.
- 1.5 Moments de flexion sollicitants
- 1.6 Effort tranchant sollicitant les murs
- 1.7 Effort normal sollicitant les murs.
- 1.8 Vérifications de résistance des murs
- 1.9 Dispositions constructives pour la ductilité locale.
- 1.10 Zones confinées de rive
- 1.11 Dimensionnement en capacité. Principe de base
- 1.12 Influence des modes supérieurs sur le comportement sismique des voiles élancés
- 1.13 Mode de ruine de voiles selon l'approche EC8 PS92
- 1.14 Conclusions relatives aux prescriptions de la réglementation ACI

CHAPITRE 2

- 2.1 Introduction
- 2.2 Comportement non linéaire
- 2.3 Modèles de comportement non linéaire
 - 2.3.1 Modèle Elasto-Plastique Bilinéaire
 - 2.3.2 Modèle « Q »
 - 2.3.3 Modèle de TAKEDA
- 2.4 Dégradation cyclique de la résistance
- 2.5 Enveloppe cyclique
- 2.6 Comportement Mécanique Du Béton Et Critères De Ruptures
- 2.7 Le modèle à base d'éléments fibres (Fiber-Based Model)
- 2.8 Modèles microscopiques
 - 2.8.1 Modèles à fibres
 - 2.8.2 Modèles multicouches
- 2.9 Modèles de béton
 - 2.9.1 Modèle constitutif de Kent et Park (1971)
- 2.10 Modèle de fibre constitutif du béton
- 2.11 Modèles de l'acier
- 2.12 Modèle de MINEGOTTO-PINTO
- 2.13 Conclusion

CHAPITRE 3

- 3.1 Introduction
- 3.2 Comportement et Modélisation non linéaire des voiles et l'approche basée sur les performances.
 - 3.2.1 Conception sismique basée sur la performance
- 3.3 Objectifs
- 3.4 Processus global de la PBSD
- 3.5 Performance
- 3.6 Conception
- 3.7 Évaluation
- 3.8 Performance
- 3.9 Procédures Simplifiées d'Analyse Non Linéaire - Une Revue de Littérature
 - 3.9.1 Introduction

- 3.9.2 Estimation Simplifiée des Sollicitations Sismiques des Bâtiments
- 3.10 Les méthodes basées sur les performances vs méthodes traditionnelles
- 3.11 Analyse statique non linéaire versus Analyse dynamique non linéaire
- 3.12 Performance sismique des voiles en BA
- 3.13 Objectifs et concept de l'analyse non-linéaire des voiles
- 3.14 Problématiques du modèle numérique dans le domaine non linéaire
- 3.15 Performances et réponse non linéaire
- 3.16 Choix des Accélérogrammes pour l'Analyse Dynamique Non Linéaire des Bâtiments de Grande Hauteur
 - 3.16.1 Introduction
 - 3.16.2 Importance des accélérogrammes dans l'analyse dynamique non linéaire
 - 3.16.3 Critères de Sélection des Accélérogrammes
 - 3.16.4 Compatibilité avec le Spectre de Réponse Cible
 - 3.16.5 Diversité des caractéristiques sismiques
 - 3.16.6 Nombre d'Accélérogrammes
- 3.17 Méthodes de Sélection des Accélérogrammes
 - 3.17.1 Sélection Basée sur le Hazard Sismique
 - 3.17.2 Scaling des Accélérogrammes
 - 3.17.3 Génération d'Accélérogrammes Artificiels
- 3.18 Comparaison avec les critères d'acceptation
- 3.19 Recommandations pour les Bâtiments de Grande Hauteur

CHAPITRE 4

- 4.1 INTRODUCTION
- 4.2 SIMULATION NON LINÉAIRE DES VOILES
- 4.3 Choix du modèle du Béton pour le Traitement des Voiles Élançés par la Dynamique Non Linéaire
 - 4.3.1 Introduction
- 4.4 Choix du Modèle de Kent
 - 4.4.1 Évolution de la Résistance du Béton
 - 4.4.2 Application à la Dynamique Non Linéaire
- 4.5 Choix de la Loi de Comportement de l'Acier Type Menegotto-Pinto pour l'Analyse Dynamique Non Linéaire par la Méthode des Fibres d'un Bâtiment Élançé Stabilisé par des Voiles.
 - 4.5.1 Introduction
 - 4.5.2 Contexte et Problématique
 - 4.5.3 Justification du Choix du Modèle de Menegotto-Pinto
 - 4.5.4 Description du Modèle de Menegotto-Pinto
 - 4.5.5 Application à la Méthode des Fibres
 - 4.5.6 Avantages pour l'Analyse Dynamique Non Linéaire
- 4.6 Modélisation par éléments finis des voiles en béton armé
 - 4.6.1 Méthode des éléments finis
 - 4.6.2 Modèle par fibres
- 4.7 Description de bâtiment en R+14
- 4.8 Avantages de la conception des voiles en tenant compte des moments avec des courbes d'interaction (M-P)
 - 4.8.1 Représentation Précise des Conditions de Chargement Réelles
 - 4.8.2 Amélioration de la Sécurité et de la Fiabilité
 - 4.8.3 Optimisation de l'Utilisation des Matériaux
 - 4.8.4 Conformité aux Normes de Conception
 - 4.8.5 Meilleure Gestion des Charges Excentrées
 - 4.8.6 Amélioration des Performances Sismiques
 - 4.8.7 Visualisation de l'Enveloppe de Rupture
 - 4.8.8 Flexibilité dans la Conception
 - 4.8.9 Amélioration des Performances Structurelles dans les Bâtiments Irréguliers
- Tableau Récapitulatif des Avantages
- 4.8.10 Source des mouvements sismiques

- 4.8.11 Nombre de mouvements sismiques
- 4.8.12 Sélection des enregistrements de mouvements sismiques selon la littérature internationale
- 4.8.13 Choix d'accélérogramme pour la modélisation numérique par la dynamique non linéaire
- 4.9 Accélérogramme T1-III-1(1983, NIHONKAI-Central, TR)
 - 4.9.1 Accélérations spectrales du séisme de Nihonkai-Chūbu 1983
- 4.10 Accélérogramme T2-3(1995, HYOUGOKEN_South, NS)
 - 4.10.1 Accélérations spectrales du séisme de Hyōgoken-Nanbu
- 4.11 Résultat de l'analyse modale spectrale
- 4.12 Vérification des performances des voiles par l'approche basée sur la courbe d'interaction tridimensionnelle
 - 4.12.1 Problématique du ferrailage des voiles par flexion composée et vérification par courbe P-M
Intérêt de la courbe d'interaction P-M
 - 4.12.2 Problématiques liées à l'utilisation de la courbe P-M
 - 4.12.3 Enjeux et perspectives
- 4.13 Design des voiles 500X30cm
- 4.14 Design des voiles 300x30cm
- 4.15 Analyse dynamique non linéaire par accélérogramme
 - 4.15.1 Sélection des mouvements sismiques d'entrée
 - 4.15.2 Spectre ou scénario de danger cible
 - 4.15.3 Source des mouvements sismiques
 - 4.15.4 Nombre de mouvements sismiques
 - 4.15.5 Sélection des enregistrements de mouvements sismiques selon la littérature internationale
- 4.16 Résultats de l'analyse dynamique non linéaire
 - 4.16.1 Évaluation des déformations au niveau des barres d'acier
- 4.17 Description et explication du critère d'absorption de l'énergie sismique par la dynamique non linéaire
 - 4.17.1 Description
 - 4.17.2 Contexte de l'Énergie Sismique
 - 4.17.3 Rôle de la Dynamique Non Linéaire
 - 4.17.4 Mécanismes d'absorption d'énergie
 - 4.17.5 Critère d'évaluation
 - 4.17.6 Application aux Voiles Élancés en Béton Armé
 - 4.17.7 Avantages de la Dynamique Non Linéaire
 - 4.17.8 Conclusion
- 4.18 Description et explication détaillée du critère du déplacement inter-étages par la dynamique non linéaire pour estimer les performances des voiles élancés
 - 4.18.1 Description
 - 4.18.2 Définition du déplacement inter-étages
 - 4.18.3 Importance pour les voiles élancés
 - 4.18.4 Rôle de la dynamique non linéaire
 - 4.18.5 Évaluation du critère de déplacement inter-étages
 - 4.18.6 Application aux voiles élancés
 - 4.18.7 Avantages de la dynamique non linéaire
 - 4.18.8 Exemple de résultats
 - 4.18.9 Conclusion
- 4.19 Description et explication détaillée du critère des courbes d'hystérésis par la dynamique non linéaire pour estimer les performances et les dommages des voiles élancés
 - 4.19.1 Description
 - 4.19.2 Définition des Courbes d'Hystérésis
 - 4.19.3 Composantes d'une courbe d'hystérésis
 - 4.19.4 Importance pour les voiles élancés
 - 4.19.5 Rôle de la dynamique non linéaire
 - 4.19.6 Paramètres clés des courbes d'hystérésis
 - 4.19.7 Application aux voiles élancés
 - 4.19.8 Évaluation des dommages

- 4.19.9 Exemple de résultats
- 4.19.10 Avantages de la dynamique non linéaire
- 4.19.11 Conclusion
- 4.20 Description et explication détaillée du critère des ratios des efforts normaux dans les voiles élancés par la dynamique non linéaire
 - 4.20.1 Description
 - 4.20.2 Définition des ratios des efforts normaux
 - 4.20.3 Importance pour les voiles élancés
 - 4.20.4 Rôle de la dynamique non linéaire
 - 4.20.5 Évaluation des ratios des efforts normaux
 - 4.20.6 Application aux Voiles Élancés
 - 4.20.7 Indicateurs de Performance et de Dommages
 - 4.20.8 Exemple de résultats
 - 4.20.9 Avantages de la Dynamique Non Linéaire
 - 4.20.10 Conclusion
- 4.21 La DEMA (Ductility-Enhanced Modal Analysis)
 - 4.21.1 Rapports d/d_1 et d/d_2
 - 4.21.2 Application aux voiles élancés
 - 4.21.3 Dynamique non linéaire
 - 4.21.4 Conclusion
- 4.2.1 Mise à Jour des Règlements Parasismiques
- 4.2.2 Formation et Sensibilisation des Professionnels
- 4.2.3 Développement d'Outils Numériques et de Modélisation
- 4.2.4 Étude de la Vulnérabilité des Ouvrages Existants
- 4.2.5 Optimisation Économique et Technique
- 4.2.6 Recherche et Innovation
- 4.2.7 Collaboration Internationale

Références

- 4.3 Bibliographie Chapitre 1
- 4.4 Bibliographie Chapitre 2
- 4.5 Bibliographie Chapitre 3
- 4.6 Bibliographie Chapitre 4

Valorisation des travaux de recherche

A compléter ultérieurement.

Mise à jour : 22.07.2025