

## TABLE DES MATIERES

### CHAPITRE 1: INTRODUCTION

1.1. Objectif de la thèse .....	1.1
1.2. Plan de la thèse.....	1.7

### CHAPITRE 2: EFFET DE LA VITESSE DE DEFORMATION SUR LES PROPRIETES MECANQUES DES MATERIAUX

2.1. Introduction .....	2.1
2.2. Domaine d'application de l'effet de la vitesse de déformation .....	2.1
2.3. Lois constitutives considérant l'effet de la vitesse de déformation .....	2.3
2.3.1. Généralités .....	2.3
2.3.2. Les phénomènes physiques liés à l'effet de la vitesse de déformation.....	2.6
2.3.2.1. Dislocations .....	2.6
2.3.2.2. Dissipation.....	2.6
2.3.3. Formulation des lois constitutives tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation.....	2.7
2.3.3.1. Modèle de Perzyna .....	2.8
2.3.3.1.1. Cas particulier des lois constitutives .....	2.10
2.3.3.1.2. Application au cas du métal .....	2.11
2.3.3.1.3. Cas élasto-parfaitement plastique .....	2.13
2.3.3.1.4. Comparaison avec les données expérimentales.....	2.15
2.3.3.2. Effet de la température sur la sensibilité à la vitesse de déformation du métal .....	2.18
2.3.3.3. Modèle de Chaboche.....	2.19
2.3.3.4. Modèle de Bodner-Partom.....	2.19
2.3.3.5. Etude comparative des trois lois constitutives de Perzyna, de Chaboche et de Bodner-Partom .....	2.20
2.3.3.6. Les principaux paramètres influençant la sensibilité des matériaux à la vitesse de déformation .....	2.20
2.3.3.6.1. Effet de la limite élastique sur la sensibilité des caractéristiques mécaniques de l'acier à la vitesse de déformation .....	2.21
2.3.3.7. Etude expérimentale de l'effet de la vitesse de déformation sur les caractéristiques de résistance.....	2.25
2.3.3.8. Influence de la vitesse de déformation de cisaillement sur le comportement au cisaillement pur de l'acier doux.....	2.26
2.4. Conclusion.....	2.28

### CHAPITRE 3: ETUDE EXPERIMENTALE ET ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS

3.1. Introduction.....	3.1
3.2. Etude expérimentale .....	3.1
3.2.1. Essais sur éprouvettes et propriétés des matériaux.....	3.1
3.2.1.1. Description d'essai .....	3.3
3.2.1.2. Résultats d'essai sur éprouvettes .....	3.3
3.2.1.2.1. Paramètres de résistance .....	3.5
3.2.1.2.2. Paramètres de ductilité .....	3.5
3.2.1.3. Conclusion.....	3.7

## Table des matières

3.2.2. Essais sur les structures en vraie grandeur.....	3.10
3.2.2.1 Spécimens testés.....	3.10
3.2.2.2. Description des spécimens testés .....	3.11
3.2.2.3. Caractéristiques mécaniques des matériaux.....	3.13
3.2.2.4. Montage d'essai et instrumentation .....	3.15
3.2.3. Mesures expérimentales et procédure d'essai .....	3.15
3.3. Comportement au voilement des éléments constitutifs des structures d'essais.....	3.16
3.3.1. Voilement élastique de la semelle comprimée .....	3.16
3.3.2. Voilement plastique de la semelle comprimée .....	3.17
3.3.3. Voilement par flexion élastique de l'âme .....	3.17
3.3.4. Voilement par cisaillement élastique de l'âme.....	3.18
3.3.5. Voilement plastique de l'âme .....	3.18
3.3.6. Conclusion.....	3.18
3.4. Critères de ruine.....	3.19
3.5. Résultats des essais .....	3.20
3.5.1. Structure d'essai SW1.....	3.21
3.5.2. Structure d'essai SW2.....	3.26
3.5.3. Structure d'essai UB1.....	3.31
3.5.4. Structure d'essai UB2.....	3.36
3.5.5. Structure d'essai SB1.....	3.41
3.6. Conclusion des expériences effectuées .....	3.46

## **CHAPITRE 4: FORMULATION EN ELEMENTS FINIS NON LINEARES DYNAMIQUES DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES CONSIDERANT L'INFLUENCE DE LA VITESSE DE DEFORMATION**

4.1. Introduction.....	4.1
4.2. Element poutre .....	4.1
4.2.1. Les caractéristiques initiales de rigidité et de flexibilité .....	4.2
4.2.1.1. Rigidité initiale de la section transversale du segment $i$ .....	4.2
4.2.1.2. Flexibilité initiale de la section transversale du segment $i$ .....	4.3
4.2.1.3. Evaluation des déformations aux extrémités du segment $i$ en fonction des efforts appliqués aux extrémités de l'élément.....	4.3
4.2.1.3.1. Déformations dans un segment dues à l'effort normal $N$ .....	4.4
4.2.1.3.2. Déformations dans un segment dues au moment $M_0$ appliqué à l'extrémité gauche de l'élément.....	4.7
4.2.1.3.3. Déformations dans un segment dues au moment $M_n$ appliqué à l'extrémité droite de l'élément.....	4.10
4.2.1.4. Evaluation de l'état de déformation dans l'élément .....	4.12
4.2.1.4.1. Etat de déformation dans l'élément dû à l'effort normal $N$ .....	4.12
4.2.1.4.2. Etat de déformation dans l'élément dû au moment $M_0$ .....	4.14
4.2.1.4.3. Etat de déformation dans l'élément dû au moment $M_n$ .....	4.15
4.2.1.4.4. Etat de déformation dans l'élément dû à l'effort tranchant .....	4.16
4.2.1.5. Evaluation de la matrice de flexibilité initiale de l'élément .....	4.16
4.2.1.6. Evaluation de la matrice de rigidité initiale de l'élément .....	4.18
4.2.2. Matrice de rotation .....	4.18
4.2.3. Matrice de transformation des déplacements en déformations.....	4.19
4.2.4. Matrice de transformation générale .....	4.20
4.2.5. Matrice de rigidité initiale globale de l'élément .....	4.20

Table des matières

4.3. Elément ressort .....	4.20
4.3.1. Le but de la modélisation de l'assemblage .....	4.20
4.3.2. Matrice de rigidité initiale du ressort élémentaire .....	4.20
4.3.3. Matrice de rigidité initiale de l'assemblage .....	4.21
4.4. Détermination de la réponse d'une structure en cas d'une analyse dynamique non linéaire .....	4.21
4.4.1. Construction de la matrice de rigidité initiale de la structure .....	4.21
4.4.2. Matrice masse .....	4.21
4.4.2.1. Concentration en masses discrètes .....	4.21
4.4.3. Matrice amortissement .....	4.22
4.4.4. Principe de l'analyse .....	4.22
4.4.5. Equation incrémentale de l'équilibre .....	4.23
4.4.5. Intégration pas à pas : méthode de l'accélération moyenne .....	4.23
4.5. Notion d'événement .....	4.24
4.5.1. Procédure d'analyse basée sur la stratégie d'événement .....	4.24
4.6. Décomposition des lois de comportement des matériaux constituant les fibres de la poutre .....	4.25
4.7. Evaluation de l'état incrémentale due à l'incrément de déplacement .....	4.27
4.7.1. Calcul des incréments de déformation dans l'élément .....	4.27
4.7.2. Calcul de l'incrément d'effort dans l'élément .....	4.28
4.7.3. Calcul de l'incrément d'effort dans le segment $i$ .....	4.28
4.7.4. Evaluation de l'incrément de déformation et de courbure dans la fibre de référence du segment $i$ .....	4.29
4.7.5. Evaluation de l'incrément de déformation dans une fibre quelconque du segment $i$ .....	4.29
4.8. Evaluation du facteur minimum de l'élément poutre .....	4.29
4.8.1. Marge de précision .....	4.29
4.8.2. Calcul du facteur d'événement dans une sous fibre .....	4.30
4.8.3. Calcul du facteur d'événement tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation .....	4.37
4.9. Décomposition de la loi de comportement de l'assemblage en sous lois élémentaires .....	4.38
4.10. Evaluation de l'état incrémentale due à l'incrément de déplacement .....	4.40
4.10.1. Calcul des incréments de rotation dans les nœuds de l'assemblage .....	4.40
4.10.2. Calcul de l'incrément de rotation dans les ressorts élémentaires .....	4.40
4.10.3. Calcul de l'incrément de moment dans les ressorts élémentaires .....	4.40
4.11. Calcul du facteur minimum de l'assemblage .....	4.41
4.11.1. Marge de précision .....	4.41
4.11.2. Calcul du facteur d'événement dans un ressort .....	4.42
4.11.3. Calcul du facteur d'événement tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation .....	4.49
4.12. Evaluation du facteur minimum de la structure .....	4.50
4.13. Détermination de l'état de l'élément poutre .....	4.50
4.13.1. Détermination de l'état des sous fibres .....	4.50
4.13.2. Détermination de l'état des sous fibres tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation .....	4.57
4.13.3. Détermination de l'état de la fibre .....	4.58
4.13.4. Evaluation de la vitesse de déformation dans la fibre .....	4.58
4.13.5. Evaluation de la matrice de rigidité du segment $i$ .....	4.58

## Table des matières

4.13.6. Actualisation de la matrice de souplesse du segment i.....	4.59
4.13.7. Actualisation de la matrice de souplesse de l'élément.....	4.59
4.13.8. Actualisation de la matrice de rigidité de l'élément.....	4.59
4.13.9. Actualisation de la matrice de rigidité globale de l'élément.....	4.60
4.14. Détermination de l'état de l'assemblage.....	4.60
4.14.1. Détermination de l'état des ressorts.....	4.60
4.14.2. Détermination de l'état des ressorts en tenant compte de l'effet de la vitesse de déformation.....	4.66
4.14.3. Calcul du moment dans l'assemblage.....	4.67
4.14.4. Actualisation de la matrice de rigidité de l'assemblage.....	4.67
4.14.5. Evaluation de la vitesse de rotation dans l'assemblage.....	4.67
4.15. Actualisation de la matrice de rigidité globale de la structure.....	4.67
4.16. Algorithme de résolution itérative à l'intérieure du pas de temps.....	4.68
4.16.1. Principe de résolution.....	4.68
4.17. Récapitulation de la méthode.....	4.69
4.18. Conclusion.....	4.73

### CHAPITRE 5: MODELISATION DES STRUCTURES D'ESSAIS

5.1. Introduction.....	5.1
5.2. Types d'éléments finis.....	5.1
5.2.1. La colonne.....	5.2
5.2.2. La poutre.....	5.2
5.2.3. Caractéristiques mécaniques de l'élément poutre et colonne.....	5.2
5.2.4. Assemblage.....	5.4
5.2.4.1. Identification des composantes individuelles actives de l'assemblage.....	5.4
5.2.4.2. Rigidité initiale de l'âme du poteau en cisaillement.....	5.5
5.2.4.3. Rigidité initiale de l'âme du poteau en compression.....	5.5
5.2.4.4. Rigidité initiale de l'âme du poteau en traction.....	5.5
5.2.4.5. Rigidité initiale de l'ensemble des rangées de boulons avec cumul des contributions de l'âme du poteau, semelle du poteau et platine.....	5.6
5.2.4.5.1. Caractéristiques.....	5.6
5.2.4.5.2. Mode de ruine en relation avec la semelle du poteau.....	5.6
5.2.4.5.3. Mode de ruine en relation avec la platine d'extrémité.....	5.7
5.2.4.5.4. Boulons en traction.....	4.8
5.2.4.6. Evaluation de la rigidité initiale de l'assemblage poutre poteau des structures SW1 et SW2.....	5.10
5.2.4.7. Evaluation de la rigidité initiale de la structure SB1.....	5.11
5.2.4.8. Evaluation de la rigidité initiale de l'assemblage poutre poteau des structures UB1 et UB2.....	5.11
5.2.4.9. Modélisation du comportement non linéaire du panneau d'âme.....	5.11
5.2.4.9.1. Modèle mathématique.....	5.12
5.3. Conclusion.....	5.15

### CHAPITRE 6: PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS NUM2RIQUES

5.1. Introduction.....	6.1
6.2. Influence de la vitesse de déformation sur le comportement global des structures d'essais.....	6.113
6.2.1. Déplacement total.....	6.113

*Table des matières*

6.2.2. La rotation plastique totale accumulée .....	6.115
6.2.3. Energie totale dissipée dans la structure .....	6.117
6.3. Influence de la vitesse de déformation sur le comportement du panneau d'âme .....	6.119
6.3.1. Rotation plastique acculée dans le panneau d'âme .....	6.119
6.3.2. Energie dissipée dans le panneau d'âme .....	6.121
6.4. Influence de la vitesse de déformation sur le comportement propre de la poutre .....	6.122
6.4.1. Rotation plastique accumulée dans la poutre .....	6.122
6.4.2. Energie dissipée dans la poutre .....	6.123
6.5. Conclusion .....	6.124

**CHAPITRE 7: ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE ELASTO PLASTIQUE  
DES STRUCTURES TENANT COMPTE DU COMPORTEMENT REEL  
DES MATERIAUX A VITESSE ELEVEE DE MISE EN CHARGE**

7.1. Introduction.....	7.1
7.2. Comportement local .....	7.1
7.2.1. Capacité de rotation disponible dans la poutre et dans la colonne .....	7.1
7.2.2. Les méthode d'évaluation de la capacité de rotation.....	7.2
7.2.2.1. Méthodes théoriques.....	7.2
7.2.2.2. Méthodes approchées .....	7.2
7.2.2.3. Méthodes empiriques.....	7.2
7.2.3. Poutres standards .....	7.3
7.2.3.1. Comportement réel de l'élément dans la structure .....	7.3
7.2.3.2. Comportement des poutres standards .....	7.8
7.2.4. Capacité de rotation .....	7.9
7.2.4.1. Courbe moment rotation .....	7.9
7.2.4.2. Définition de la capacité de rotation.....	7.11
7.2.5. Voilement plastique des éléments en acier .....	7.13
7.2.5.1. Analyse des modes de voilement dans le domaine plastique.....	7.13
7.2.5.2. Contrainte critique .....	7.14
7.2.5.3. Longueur de voilement .....	7.15
7.2.5.4. Elancement limite de la semelle .....	7.15
7.2.5.6. Interaction entre l'élancement de l'âme et de la semelle.....	7.17
7.2.6. Expression analytique de la courbe moment rotation.....	7.18
7.2.6.1. Branche élastique .....	7.18
7.2.6.2. Branche plastique .....	7.19
7.2.6.3. Branche décroissante .....	7.19
7.2.6.3.1. Mécanisme de ruine plastique .....	7.19
7.2.6.3.1.1. Principe du mécanisme de ruine plastique.....	7.19
7.2.6.3.1.2. La méthode de base du mécanisme de ruine plastique.....	7.20
7.2.6.3.1.3. Voilement plan .....	7.21
7.2.6.3.1.4. Voilement hors plan .....	7.22
7.2.6.3.1.5. Interaction entre le voilement plan et le voilement hors plan.....	7.23
7.2.7. Influence de la vitesse de déformation sur la capacité de rotation.....	7.25
7.2.8. Influence de l'action cyclique et sismique sur la ca capacité de rotation.....	7.26
7.2.8.1. Dommages dues au voilement local.....	7.27
7.2.8.2. Dommages dus à la propagation de la fissuration .....	7.27
7.2.9. Correction de la capacité de rotation tenant compte de l'action cyclique.....	7.27

## Table des matières

7.2.10. Correction de la capacité de rotation tenant compte de l'action cyclique.....	7.29
7.2.11. Structures étudiées .....	7.30
7.2.11.1. Description .....	7.30
7.2.11.1. Classement des poutres standards et des rotules plastiques .....	7.32
7.2.11. Présentation et analyse des résultats des simulations numériques.....	7.33
7.2.11.1. Introduction.....	7.33
7.2.11.2. Présentation et analyse des résultats des simulations numériques relatives à la capacité de rotation et à la ductilité locale .....	7.33
7.2.12. Influence des modes de vibration .....	7.40
7.2.13. Influence des charges impulsives .....	7.40
7.2.13.1. Charge impulsive rectangulaire de durée illimitée .....	7.41
7.2.13.2. Charge impulsive rectangulaire de courte durée .....	7.47
7.2.13.3. Charge impulsive de forme quelconque et de courte durée.....	7.50
7.2.13.4. Charge impulsive symétrique de forme triangulaire et de courte durée ....	7.51
7.2.13.5. Charge impulsive décroissante et de courte durée .....	7.52
7.3. Comportement global.....	7.53
7.3.1. Définition du facteur de comportement d'une structure .....	7.54
7.3.2. Evaluation pratique .....	7.54
7.3.3. Méthodes d'évaluation du facteur de comportement.....	7.55
7.3.3.1. Méthodes basées sur la théorie du facteur de ductilité .....	7.56
7.3.3.1.1. Méthode de Newmark et Hall .....	7.56
7.3.3.1.2. Méthode de Cosenza, De Luca, Faella et Mazzolani .....	7.57
7.3.3.1.3. Méthode de Giuffre et Giannini .....	7.58
7.3.3.1.4. Méthode de Palazzo et Fraternali .....	7.58
7.3.3.1.5. Méthode de Krawinkler et Nassar .....	7.60
7.3.3.1.6. Méthode de Cosenza, De Luca, Faella et Piluso .....	7.60
7.3.3.2. Méthode basée sur l'analyse dynamique inélastiques des systèmes à plusieurs degrés de libertés .....	7.61
7.3.3.2.1. Méthode de Ballio et Setti .....	7.61
3.1	
7.3.3.3. Méthodes basées sur l'approche énergétique.....	7.63
7.3.3.3.1. Méthode de Bonev et Christov.....	7.63
7.3.3.3.2. Méthode de Kato et Akiyama.....	7.66
7.3.3.3.3. Méthode de Como et Lanni.....	7.67
7.3.4. Evaluation du facteur de comportement dans les deux hypothèses avec et sans effet de la vitesse de déformation.....	7.67
7.3.4.1. Accélérogrammes considérés.....	7.68
7.4. Conclusion.....	7.72

## CHAPITRE 8: CONCLUSIONS GENERALES

### REFERENCES