

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounâama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de la Technologie
Mémoire du Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention de diplôme

Master

En

« **Technologie** »

Option :

« **Automatique et Informatique Industriel** »

Titre :

**Contrôle actif du système structurel intelligent
basé sur un contrôleur PID optimal en utilisant
un optimiseur avancé de Grey Wolf**

Réalisée par :

- ♦ Mecene Hakime
- ♦ Laissaoui Hemza

Encadré par :

- ❖ Bachir Nail

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord, on remercie Allah, le clément et miséricordieux de nous avoir donné la force, le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail

*Nous tenons à remercier vivement et sincèrement notre encadreur Dr : **Nail Bachir** qui assuré la direction de ce travail, pour tout le soutien, les orientations tout le long de la réalisation de ce mémoire*

On remercie les membres de jury qui ont accepté de jury notre travail

Dédicaces

Ce travail est fortement dédié à :

Mes parents : pour leur encouragement et leur patience tout au long de mon parcours scolaire et universitaire

Mes frères et mes sœurs : votre confiance est incroyable

Et tous mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur, à tout ma famille et pour tout personne m'ayant aidé de près ou de loin

Résumé :

La surveillance des bâtiments est devenue l'un des défis de l'ère moderne, car les ingénieurs lui ont donné la priorité dans leurs études pendant deux décennies en raison de sa grande importance. Ils ont utilisé divers amortisseurs actifs et semi-actifs et même des amortisseurs passifs, afin de maintenir la sécurité des bâtiments et de leurs résidents contre les séismes, les vents violents et même d'autres facteurs géologiques

C'est pour cela que les ingénieurs ont travaillé dur pour appliquer et utiliser diverses technologies modernes telles que Grey Wolf Optimiser et Contrôleur PID afin de mieux trouver les meilleures solutions possibles

Dans cette étude, nous allons étudier un côté de bâtiments intelligents pour une structure de 8 étages et clarifier les différentes équations mathématiques qui y sont liées et l'appliquer ainsi que la théorie du loup gris. Nous utilisons pour cela un programme de simulation MATLAB pour voir les résultats.

Mots clés : loup gris, régulateur PID, contrôle actif.

Abstract:

Building surveillance has become one of the challenges of the modern era, as engineers have prioritized it in their studies for two decades due to its great importance. They have used various active and semi-active shock absorbers and even passive shock absorbers, in order to maintain the safety of buildings and their residents against earthquakes, strong winds and even other geological factors.

This is why the engineers have worked hard to apply and use various modern technologies such as Gray Wolf Optimize and PID Controller to better find the best possible solutions.

In this study, we will study a side of smart buildings for an 8 story structure and clarify the various mathematical equations related to it and apply it along with the gray wolf theory. We use a MATLAB simulation program for this to see the results.

Key Word: Grey Wolf Optimizer, PID controller, active control

الملخص

أصبح مراقبة الأبنية من تحديات العصر الحديث حيث أعطاه المهندسين الأولوية في دراستهم خلال عقود من الزمن نظرا للأهمية البالغة وقد استعملوا مختلف المخدمات النشطة والشبه نشطة وحتى المخدمات السلبية من أجل الحفاظ على سلامة الأبنية وسكانها من الزلازل والرياح القوية وحتى عوامل جيولوجية أخرى

ومن أجل هذه اجتهد المهندسين في تطبيق والاستعمال مختلف التقنيات الحديثة مثل محسن الذئب الرمادي ومن أجل أفضل إيجاد أفضل الحلول الممكنة PID contrôleur

في هذه الدراسة سوف ندرس جانب من الأبنية الذكية لهيكل ذات ثمانية طوابق وتوضيح مختلف المعادلات الرياضية المتعلقة به ونطبق عليه ونظرية الذئب الرمادي نستعمل من أجل ذلك برنامج ماطلاب للمحاكاة واستظهار النتائج

الكلمات المفتاحية: المحسن الذئب الرمادي خوارزمية بي أي دي

Sommaire

Remerciement.....	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Sommaire	V
List de figure	VI
Liste de tableau	VII
Liste des abréviations	IX
Introduction général	1

CHAPITRE 1: Formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

1.1 Introduction	3
1.2 Equation des états	3
1.3 Exemples	5
1.3.1 Système à 1 degré de liberté	5
1.3.2 Système à plusieurs degrés de liberté	7
1.3.3 Application sur une structure de 8 étages	9
1.4 Conclusion	13

CHAPITRE 2: Théorie d'algorithme de loups gris et régulateur PID optimal

2.1 Introduction	15
2.2 algorithme de contrôle	15
2.3 Grey Wolf optimisé	15
2.3.1 Inspiration	15
2.3.2 Modèle mathématique et algorithme.....	18
2.3.2.a) Hiérarchie sociale	18
2.3.2.b) proie encerclant	18
2.3.2.c) Chasse	19
2.3.2.d) Attaque de proie (exploitation)	20
2.3.2.e) Recherche de proie (exploration).....	21
2.4 Régulateur PID	22
2.5 Conclusion	25

CHAPITRE 3: Application et résultats

3.1 Introduction	27
3.2 Hypothèse et limitation	27
3.3 La résolution et modélisation numérique avec MATLAB	27
3.4 Description de la structure	28
3.5 Déplacement à la base	29
3.5. a) Cas 01: (sans contrôleur et avec contrôleur PID classique)	29
3.5. b) Cas 02: (avec contrôleur PID optimise par GWO)	30
3.6 Les paramètres de régulateur PID	32
3.7 La révolution de GWO	33
3.8 Conclusion	34
Conclusion général	36
Références bibliographiques	38

Liste des figures

Numéro	Figure	Page
Figure 1.1	Schéma fonctionnel d'équation d'état	4
Figure 1.2	système mécanique translationnel	5
Figure 1.3	Diagramme de corps libre	5
Figure 1.4	système mécanique translationnel	7
Figure 1.5	structure 8 étages	9
Figure 1.6	système mécanique translationnel	9
Figure 2.1	Hiérarchie du loup gris	16
Figure 2.2	comportement de la chasse des loups gris	17
Figure 2.3	Vecteurs de position 2D ,3D et leurs prochains emplacements possibles	19
Figure 2.4	Mise à jour de position dans GWO	20
Figure 2.5	Attaquer une proie ou chercher une proie	21
Figure 2.6	Le pseudo-code de l'algorithme GWO	22
Figure 2.7	Schéma de la composition du contrôleur PID	23
Figure 2.8	Réponse du système sous excitation d'impulsion	24
Figure 3.1	Fichier Simulink et la représentation d'état	28
Figure 3.2	Diagramme de résolution par Matlab	28
Figure 3.3	Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro sans contrôle	29
Figure 3.4	Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro avec contrôleur PID classique	30
Figure 3.5	Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro avec contrôleur PID optimisé par GWO	31
Figure 3.6	Force de contrôle obtenue par le PID optimisé par GWO, sous l'excitation sismique d'El Centro	31
Figure 3.7	Evolution du vecteur d'optimisation de l'algorithme GWO lors des itérations	32
Figure 3.8	Meilleur score de GWO pendant les itérations	33

Liste des tableaux :

Numéro	Tableau	Page
Tableau 3.1	Déplacement à la base de bâtiment [cm]	29
Tableau 3.2	Déplacement à la base de bâtiment [cm]	30
Tableau 3.3	Evolution de vecteur d'optimisation de l'algorithme GWO lors des itérations	32
Tableau 3.4	Meilleur score de GOW pendant les itérations	33

Liste des abréviations :

MIMO	Multiple Input Multiple Output
SISO	Single Input Single Output
PID	Proportional Integral Derivative
GWO	Wolf Optimizer (Optimiseur de Loup Gris)
3D	3 Dimensions
2D	2 Dimensions
Kd	Le gain dérivé
KI	Le gain intégral
KP	Le gain proportionnel
A	Matrice d'état
B	Matrice d'entrée
C	Matrice de sortie
m	Masse de la structure
K	Rigidité de la structure
C	Amortissement de la structure
[M_t]	Matrices de masse
[C_t]	Matrices d'amortissement
[K t]	Matrice de rigidité
{ f_u }	Vecteur la force de contrôle appliquée
{D}	Vecteur indique
{ Γ }	Vecteur unitaire
{ ẍ_g }	Vecteur l'accélération de l'excitation sismique
{ x_t }	Vecteur de déplacement
{ ẋ_t }	Vecteur de vitesse
{ ẍ_t }	Vecteur l'accélération
(.)⁻¹	Inverse
(.)^T	Transpose
(.)[*]	Conjuguer
(.)⁺	Pseudo-inverse

Introduction

Générale

Introduction générale

Les travaux d'ingénierie sont soumis à divers de charges dynamique soudains telles que tremblement de terre, tempêtes de vent, explosions, ...etc.

De nos jours, il y a eu beaucoup d'intérêt pour utilisation de différent système de contrôle structurel intelligent pour atténuer les efforts dynamiques des dangers environnementaux ou pour la réduction Des effets de ces charges sur les structures tels que les tremblements de terre et les vents forts

Une variété de système de contrôle a été envisagée pour cette application qui pourrait être Il est classé comme passif, actif et semi-actif. Ce dernier, dans ce cas des systèmes semi-actif, a récemment attiré beaucoup d'attention car il a d'adaptabilité et l'optimisation des systèmes

Pour atteindre l'optimisation des systèmes, un contrôleur pour ces applications utilise plusieurs méthodes et algorithme, par exemple PID (proportionnel intégral dérivative), GWO (Grey Wolf optimiser) ...etc.

L'objectif principal de ce travail est : appliquer le contrôleur PID classique optimale en utilise l'algorithme GWO, et d'étudier contrôle actif du système structurel intelligent pour la réduction de la réponse séismique d'une structure de moyen hauteur. Pour cela, plusieurs algorithmes de contrôle ont été développés et la force de contrôle est calculée par deux types : le PID et GWO

Ce travail se compose de trois chapitres dont les contenus sont brièvement d'écrits ci-dessous :

Le premier chapitre présent la description de formulation mathématique d'un système dynamique, on présente la description pour valider la méthode de représentation et la définition de sa forme générale. La résolution d'un système dynamique en représentation d'état est aussi présentée respectivement pour un système à 2 degré de liberté et plusieurs degrés de libertés

Le deuxième chapitre est devisé en deux parties, la première partie traite la théorie de loup gris avec différents étapes d'application. La deuxième partie sera consacré à une représentation du modèle de contrôle en utilise le contrôleur PID, une description des différents paramètres structuraux pour configuration de la structure

Le troisième chapitre regroupe les résultats obtenus suite à la résolution numérique, on présente la description de la structure d'emplacement utilisé, et on observe les résultats sur logiciel de programmation MATLAB avec leur tâche SIMULINK de boîte outil (state-space).

Finalement notre travail s'achèvera par une conclusion générale

Chapitre I

**Formulation mathématique du
contrôle actif de la réponse sismique
des structures**

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

1.1 Introduction :

Ce chapitre présente la représentation de state-space pour les systèmes invariants linéaires dans le temps, on donne une définition du format de l'équation d'état et fournissons des exemples pour montrer comment les équations d'état peut être dérivées des descriptions de système physique et des représentation de fonction de Transfer , de plus , nous montrons comment les équation d'état linéaires résultent de la linéarisation d'une équation d'état non linéaire autour d'une trajectoire nominale

1.2 Equations des états :

Une représentation de state-space pour un système linéaire invariant dans le temps a la forme générale :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + B u(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}\tag{1.1}$$

Dans lequel $x(t)$ est le vecteur d'état à n dimension :

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n(t) \end{bmatrix}\tag{1.2}$$

Etant donné que la différence dans le temps d'une quantité de vecteur variant du temps est effectuée composante par composante, la dérivée temporelle sur le côté gauche de l'équation (1.1) représente :

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{x}_n(t) \end{bmatrix}\tag{1.3}$$

Enfin, pour un temps initial spécifié t_0 , l'état initial $x(t_0) = x_0$ est un vecteur spécifié, vecteur de dimension constant

Le vecteur d'état $x(t)$ est composé d'un ensemble minimal de variable système qui décrit de manière unique la réponse future du système en fonction de l'état actuel, de l'entrée et des équations dynamique. Le vecteur d'entrée $u(t)$ contient les variables utilisées pour actionner le système, le vecteur de sortie $y(t)$ contient les quantités mesurables et le vecteur d'état $x(t)$ contient les variables système internes.

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

En utilisant la conversion de notation $M = [m_{ij}]$ pour représenter la matrice dont les éléments de la rangée i et de la colonne j sont m_{ij} , les matrices de coefficients de l'équation (1.1) peut être spécifiées via :

$$A = [a_{ij}] \quad B = [b_{ij}] \quad C = [c_{ij}] \quad (1.4)$$

$$D = [d_{ij}]$$

Ayant les dimensions $n \times n$, $n \times m$, $p \times n$ et $p \times m$, respectivement, avec des définitions en place, nous voyons que l'équation d'état (1.1) est une représentation compacte de n équation différentielles ordinaires du premier ordre scalaire, c'est-à-dire :

$$\dot{x}_i(t) = a_{i1}x_1(t) + a_{i2}x_2(t) + \dots + a_{in}x_n(t) + b_{i1}u_1(t) + b_{i2}u_2(t) + \dots + b_{im}u_m(t) \quad (1.5)$$

Pour $i = 1, 2, \dots, n$ ainsi que p équations algébrique linéaires scalaires :

$$y_j(t) = c_{j1}x_1(t) + c_{j2}x_2(t) + \dots + c_{jn}x_n(t) + d_{j1}u_1(t) + d_{j2}u_2(t) + \dots + d_{jm}u_m(t) \quad (1.6)$$

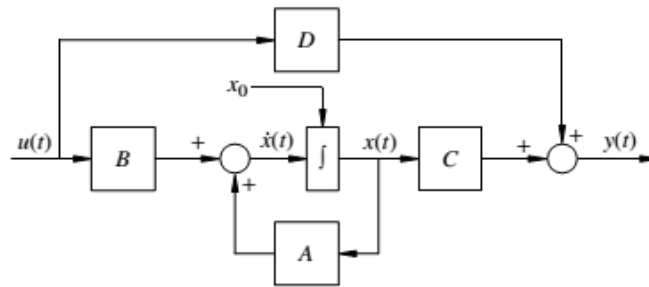


Figure 1.1 : Schéma fonctionnel d'équation d'état

Pour $j = 1, 2, \dots, p$. A partir de là, la notation vectoriel (1.1) sera être préféré à ces décompositions scalaires. La description de state-space comprend l'équation différentielle d'état $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ et l'équation de sortie algébrique $y(t) = Cx(t) + Du$ à partir de l'équation (1.1)

La figure (1.1) illustre le schéma fonctionnel de la représentation en state- space de système généraux invariants dans le temps linéaire à entrées multiples et à sortie multiples.

Une des motivations de la formulation de state-space est de convertir un système couplé d'équation différentielle ordinaire d'ordre supérieur, par exemple celles représentant la dynamique d'un système mécanique, en un ensemble couplé d'équation différentielles du premier ordre. Dans le cas d'une entrée unique, d'une sortie unique, la représentation en state-space convertit une équation différentielle d'ordre n en un système en n équations différentielle de premier ordre couplées. Dans le cas d'entrée multiples, sortie multiples, dans lequel toutes les équations sont du même ordre n on peut convertir le système d'équation différentielle du k nième ordre en un système d'équation différentielle du premier ordre couplée kn . **Ogata .K.[01]**

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

1.3 Exemples :

Nous présentons une série d'exemples illustrant la construction d'équations à état linéaires. Les exemples commencent par la modélisation des premiers principes des systèmes physiques. Dans chaque cas, nous adoptons la stratégie consistant à associer des variables d'état aux éléments de stockages d'énergie du système. Cela facilite la dérivation des équations différentielle et algébrique requises dans le format d'équation d'état. Et aussi par les descriptions des fonctions de transfert, établissant ainsi un lien entre les fonctions de transfert et les équations d'état qui seront approfondies par suivant.

1.3.1 Système à 1 degré de liberté :

Etant donné le système mécanique de translation linéaire à entré unique, à sortie unique et à masse –ressort de la figure 1.2, nous déduisons maintenant le model de système, puis convertissez –le en une description de state-space

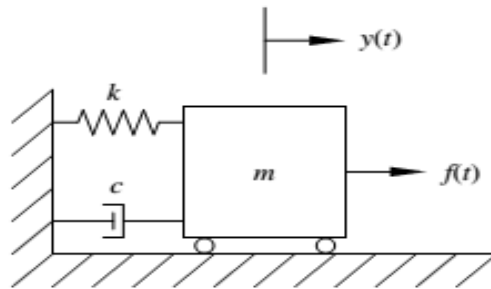


Figure 1 .2 : système mécanique translationnel



Figure 1 .3 : Diagramme de corps libre

Pour ce système, l'entrée est la force $f(t)$ et la sortie est le déplacement $y(t)$. En utilisant la deuxième la loi Newton, l'équation dynamique des forces pour le diagramme de corps libre de la figure 1.3 donne l'équation différentielle ordinaire de second ordre suivant :

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + Ky(y) = f(t) \quad (1.5)$$

Qui modélise le comportement du système. Comme il s'agit d'une différentielle du second ordre unique, nous devons sélectionner un vecteur d'état 2×1 . En général, le stockage d'énergie est un bon critère pour choisir les variables d'état. L'énergie totale du système est tout moment composée de l'énergie potentielle du ressort $ky(t)^2/2$ et de l'énergie cinétique $my(t)^2/2$ associée au déplacement de masse et à la vitesse. Nous choisissons ensuite de définir les variables d'état comme étant le déplacement de masse et la vitesse :

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad x_1(t) = y(t) \quad (1.6)$$

$$x_2(t) = y(t) = x_1(t)$$

Donc,

$$y(t) = \dot{x}_2(t) \quad (1.7)$$

$$y(t) = \ddot{x}_2(t)$$

La substitution de ces deux définitions d'état dans l'équation système originale donne :

$$m\ddot{x}_2(t) + c\dot{x}_2(t) + Kx_1(t) = f(t) \quad (1.8)$$

L'équation différentielle du second ordre unique d'origine peut être écrite un système couplé de deux équations différentielles du premier ordre, c'est-à-dire :

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t) \quad (1.9)$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{c}{m}x_2(t) - \frac{k}{m}x_1(t) + \frac{1}{m}f(t)$$

La sortie est le déplacement de masse

$$y(t) = x_1(t) \quad (1.10)$$

Le nom de variable générique pour les vecteurs d'entrée est $u(t)$, nous définissons donc :

$$u(t) = f(t) \quad (1.11)$$

Nous écrivons maintenant les équations précédentes sous forme de matrice-vecteur pour obtenir une description valide de state-space. La description générale de state-space comprend l'équation différentielle d'état et l'équation de sortie algébrique, pour l'exemple 1, ce sont :

Equation différentielle d'état :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (1.12)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u(t) \quad (1.13)$$

Equation de sortie algébrique :

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (1.14)$$

$$y(t) = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + [0] u(t) \quad (1.15)$$

Les matrices système bidimensionnelles à entrée unique et à sortie unique dans cet exemple sont (avec $m=p=1$ et $n=2$) :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} \quad C = [1 \quad 0], \quad D = 0 \quad (1.16)$$

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

Dans cet exemple, le vecteur d'état est composé de la position et vitesse de la masse deux états sont nécessaires car nous avons commencé avec une équation différentielle du second ordre. Notez que $D=0$, dans cet exemple car aucune partie de la force en entrée n'est directement couplée à la sortie

1.3.2 Système à plusieurs degrés de liberté :

Considérons le système mécanique de translation montré la figure 1.4 dans laquelle $y_1(t)$ et $y_2(t)$ désignent le déplacement de masse associée à partir de sa position d'équilibre statique, et $f(t)$ représente une force appliquée à la première masse m_1 . Les paramètres sont les masses m_1 et m_2 , les coefficients d'amortissement C et les raideurs K_1 et K_2 . L'entrée est la force appliquée $u(t) = f(t)$, les sorties étant considérées comme le déplacement de masse nous dérivons maintenant un modèle de système mathématique et déterminons ensuite une représentation valide de state-space

La seconde loi de Newton appliquée à chaque masse donne les équations différentielles de second ordre couplées, c'est-à-dire :

$$m_1 \ddot{y}_1(t) + k_1 y_1(t) - k_2 [y_2(t) - y_1(t)] = f(t) \quad (1.17)$$

$$m_2 \ddot{y}_2(t) + c \dot{y}_2(t) + k_2 [y_2(t) - y_1(t)] = 0 \quad (1.18)$$

Les éléments de stockage d'énergie sont ici les deux ressorts et les deux masses. Définition des variables d'état en termes de déplacement de masse et de vitesse

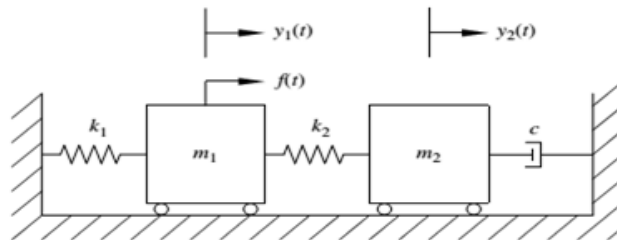


Figure 1.4 : système mécanique transrationalnel

Les rendements :

$$\begin{aligned} x_1(t) &= y_1(t) \\ x_2(t) &= y_2(t) - y_1(t) \\ x_3(t) &= \dot{y}_1(t) \\ x_4(t) &= \dot{y}_2(t) \end{aligned} \quad (1.19)$$

Une algèbre simple donne la représentation de l'équation d'état suivante :

Equation différentielle d'état

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -k_2 & -1 \\ -\frac{k_1}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{k_2}{m_2} & 0 & \frac{-c}{m_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_1} \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (1.20)$$

Equation de sortie algébrique :

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (1.21)$$

A partir duquel les matrices de coefficients A, B, C et D peuvent être identifiées que D = [0 0] car il n'y a pas de transverse direct de l'entrée à la sortie

Or, il était pratique auparavant de définir la deuxième variable d'état comme étant la différence de déplacement de masse $x_2(t) = y_2(t) - y_1(t)$, car

On définit la deuxième variable en fonction du déplacement de masse absolu, c'est-à-dire $x_2(t) = y_2(t)$, et en déduire une représentation state-space également valide. Faire ce changement nos définitions de variable d'état, c'est-à-dire

$$\begin{aligned} x_1(t) &= y_1(t) \\ x_2(t) &= y_2(t) \\ x_3(t) &= \dot{y}_1(t) \\ x_4(t) &= \dot{y}_2(t) \end{aligned} \quad (1.22)$$

Donc les nouvelles matrices A et C

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{(K_1+K_2)}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & 0 & 0 \\ \frac{k_2}{m_2} & \frac{-k_2}{m_2} & 0 & \frac{-c}{m_2} \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Les matrices B et D sont inchangées

1.3.3 Application sur une structure de 8 étages :

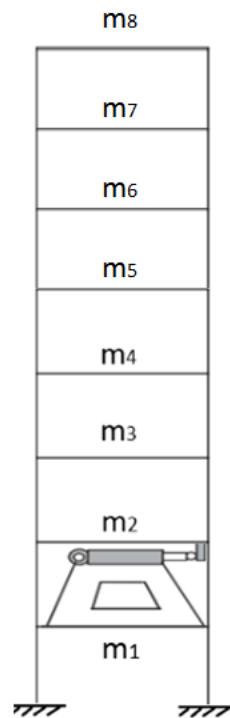


Figure 1.5 : structure 8 étages

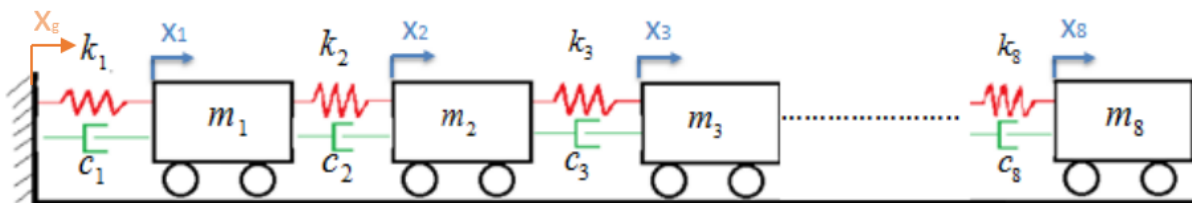
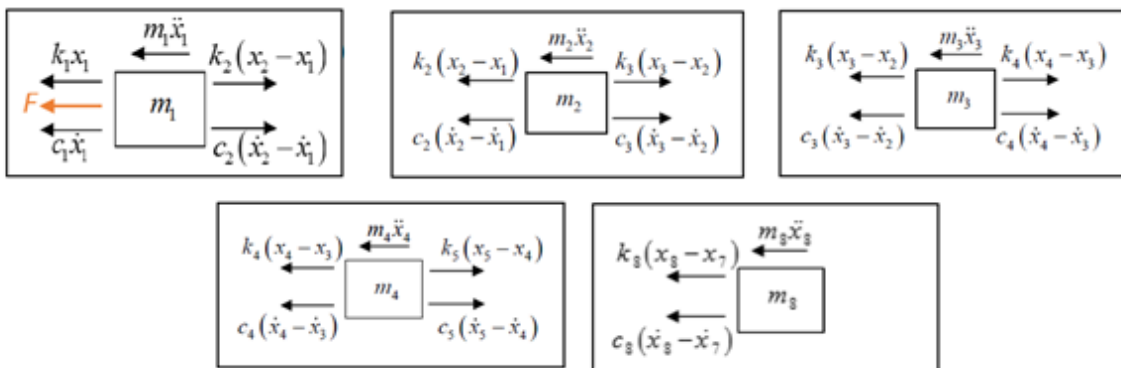


Figure 1.6 : système mécanique transrationnel

• Diagramme de corps :



• Mise en équation :

$$[M_t]\{\ddot{x}_t\} + [C_t]\{\dot{x}_t\} + [K_t]\{x_t\} = -[M_t]\{\Gamma_t\}\{\ddot{x}_g\} - [D]\{f_u\} \quad (1.24)$$

Chapitre I formulation mathématique du contrôle actif de la réponse sismique des structures

Equation de mouvement :

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 + F = -m_1 \ddot{x}_g \quad (1.25)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_1 + (c_3 + c_2) \dot{x}_2 - c_3 \dot{x}_3 - k_2 x_1 + (k_3 + k_2)x_2 - k_3 x_3 = -m_2 \ddot{x}_g$$

.....

$$m_8 \ddot{x}_8 - c_8 \dot{x}_7 + c_8 \dot{x}_8 - k_8 x_7 + k_8 x_8 = -m_8 \ddot{x}_g$$

L'équation peut être écrite sous la forme suivante :

$$\{\ddot{x}_t\} = -[M_t]^{-1} [C_t] \{\dot{x}_t\} - [M_t]^{-1} [K_t] \{x_t\} - \{\Gamma_t\} \{\ddot{x}_g\} + [M_t]^{-1} [D] \{f_u\} \quad (1.26)$$

Dans l'équation (1.17), $[M_t]$ la matrices de masse, $[C_t]$ la matrices d'amortissement et $[K_t]$ la matrice de rigidité, la force de contrôle semi-actif appliquée noté par $\{f_u\}$, le vecteur $[D]$ indique l'emplacement de force de contrôle $\{\Gamma\}$ est un vecteur unitaire ($n \times 1$), $\{\ddot{x}_g\}$ l'accélération du sol $\{x_t\}$, $\{\dot{x}_t\}$ et $\{\ddot{x}_t\}$ représente le vecteur de déplacement relatif, le vecteur de vitesse et le vecteur d'accélération de la structure :

$$\ddot{x}_1 = -\frac{(c_1 + c_2)}{m_1} \dot{x}_1 + \frac{c_2}{m_1} \dot{x}_2 - \frac{(k_1 + k_2)}{m_1} x_1 + \frac{k_2}{m_1} x_2 - \ddot{x}_g \quad (1.27)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{c_2}{m_2} \dot{x}_1 - \frac{(c_2 + c_3)}{m_2} \dot{x}_2 + \frac{c_3}{m_2} \dot{x}_3 + \frac{k_2}{m_2} x_1 - \frac{(k_2 + k_3)}{m_2} x_2 + \frac{k_3}{m_2} x_3 - \ddot{x}_g$$

$$\ddot{x}_8 = \frac{c_8}{m_8} \dot{x}_7 - \frac{c_8}{m_8} \dot{x}_8 + \frac{k_8}{m_8} x_7 - \frac{k_8}{m_8} x_8 - \ddot{x}_g$$

L'expression précédente peut être réarrangée comme suit :

$$\begin{Bmatrix} \{\dot{x}_t\} \\ \{\ddot{x}_t\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -[M_t]^{-1}[K_t] & -[M_t]^{-1}[C_t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_t\} \\ \{\dot{x}_t\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \{0\} \\ [M_t]^{-1}[D] \end{bmatrix} \{f_u\} + \begin{bmatrix} \{0\} \\ -\{ \} \end{bmatrix} \{\ddot{x}_g\} \quad (1.28)$$

Les matrices de masse, d'amortissement et de rigidité :

$$[M_t] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_8 \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

$$[C_t] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & -c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 + c_6 & -c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_6 & c_6 + c_7 & -c_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_7 & c_7 + c_8 & -c_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_8 & c_8 \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

$[K_t]=$

$$\begin{bmatrix} k1 + k2 & -k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k2 & -k2 + k3 & -k3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k3 & k3 + k4 & -k4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k4 & k4 + k5 & -k5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k5 & k5 + k6 & -k6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k6 & k6 + k7 & -k7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k7 & k7 + k8 - k8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k8 & k8 \end{bmatrix} \quad (1.31)$$

L'équation de mouvement de second ordre (2) est écrite dans une représentation d'état de premier ordre en définissant le vecteur d'état suivant : *Pourzeynali et al. [2], Kumar et al. [3], Yang et al. [4], Nagarajaiah et al. [5]*:

$$z(t) = \begin{Bmatrix} \{x(t)\} \\ \{\dot{x}(t)\} \end{Bmatrix} \quad (1.32)$$

Ensuite, l'équation (3) peut être réécrite sous la forme :

$$\dot{z}(t) = Az(t) + E\ddot{x}_g(t) + Hf_u(t) \quad (1.33)$$

$$Y(t) = Cz(t)$$

$$\dot{z}(t) = \begin{Bmatrix} \{\dot{x}(t)\} \\ \{\ddot{x}(t)\} \end{Bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -[Mt]^{-1} & [Kt] - [Mt]^{-1} [Ct] \end{bmatrix} \quad (1.34)$$

$$E = \begin{bmatrix} [0] \\ -\{ \} \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} \{0\} \\ [Mt]^{-1} [-D] \end{bmatrix}$$

Matrice de masse inverse $[M_t]^{-1}$

$$[M_t]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m7} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m8} \end{bmatrix} \quad (1.35)$$

$$-[M_t]^{-1} [C_t] = \begin{bmatrix} \frac{(c1+c2)}{m1} & \frac{-c2}{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-c2}{m2} & \frac{(c2+c3)}{m2} & \frac{-c3}{m2} & \frac{-c4}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-c3}{m3} & \frac{c3+c4}{m3} & \frac{-c5}{m3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-c4}{m4} & \frac{c4+c5}{m4} & \frac{-c6}{m4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-c5}{m5} & \frac{c5+c6}{m5} & \frac{-c7}{m5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c6}{m6} & \frac{c6+c7}{m6} & \frac{-c7}{m6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c7}{m7} & \frac{c7+c8}{m7} & \frac{c8}{m7} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c8}{m8} & \frac{-c8}{m8} \end{bmatrix} \quad (1.36)$$

$$-[M_t]^{-1} [k_t] = \begin{bmatrix} \frac{(k1+k2)}{m1} & \frac{-k2}{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-k2}{m2} & \frac{(k2+k3)}{m2} & \frac{-k3}{m2} & \frac{-k4}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-k3}{m3} & \frac{c3+k4}{m3} & \frac{-k5}{m3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-k4}{m4} & \frac{k4+k5}{m4} & \frac{-k6}{m4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-k5}{m5} & \frac{c5+k6}{m5} & \frac{-k7}{m5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-k6}{m6} & \frac{c6+c7}{m6} & \frac{-k7}{m6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-k7}{m7} & \frac{c7+c8}{m7} & \frac{k8}{m7} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k8}{m8} & \frac{-k8}{m8} \end{bmatrix} \quad (1.37)$$

La matrice A

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{(k1+k2)}{m1} & \frac{-k2}{m1} & \frac{-k3}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(c1+c2)}{m1} & \frac{-c2}{m1} & \frac{-c3}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-k2}{m2} & \frac{(k2+k3)}{m2} & \frac{-k4}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c2}{m2} & \frac{(c2+c3)}{m2} & \frac{-c4}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-k3}{m3} & \frac{m2}{m3} & \frac{(k3+k4)}{m3} & \frac{-k5}{m3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c3}{m3} & \frac{c3+c4}{m3} & \frac{-c5}{m3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-k4}{m4} & \frac{k4+k5}{m4} & \frac{-k6}{m4} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c4}{m4} & \frac{c4+c5}{m4} & \frac{-c6}{m4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-k5}{m5} & \frac{k5+k6}{m5} & \frac{-k7}{m5} & 0 & 0 & 0 & \frac{-c5}{m5} & \frac{c5+k6}{m5} & \frac{-c7}{m5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-k6}{m6} & \frac{c6+c7}{m6} & \frac{-k7}{m6} & 0 & 0 & \frac{-c6}{m6} & \frac{c6+c7}{m6} & \frac{-c7}{m6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-k7}{m7} & \frac{c7+c8}{m7} & \frac{k8}{m7} & 0 & 0 & 0 & \frac{-c7}{m7} & \frac{c7+c8}{m7} & \frac{c8}{m7} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-k8}{m8} & \frac{-k8}{m8} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c8}{m8} & \frac{-c8}{m8} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k8}{m8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c8}{m8} & \frac{-c8}{m8} & 0 \end{bmatrix} \quad (1.38)$$

$$\{E\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad \{H\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{m_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad [C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.39)$$

1.4 Conclusion :

On a vu dans ce chapitre tous les équations mathématique d'une structure qui est excité par un séisme, pour le chapitre suivant on voire les algorithmes de loup gris et le régulateur PID qui appliquer à cette structure.

Chapitre II

**Théorie d'algorithme de
loups gris et régulateur PID
optimal**

2.1 Introduction :

Cette partie parle de nouvelle méta-heuristique appelée Gray Wolf Optimiser (GWO) inspirée des loups gris (*Canis lupus*). L'algorithme simule la hiérarchie de leadership et le mécanisme de chasse des loups gris dans la nature. Quatre types de loups gris tels qu'alpha, beta, delta et oméga sont utilisés pour simuler la hiérarchie du leadership. De plus les trois étapes principales de la chasse, de recherche de proies, de l'encerclement des proies et de l'attaque des proies sont mises en œuvre. L'algorithme est comparé à 29 fonctions de test bien connues, et les résultats sont vérifiés par une étude comparative avec l'optimisation des essaims de particules (PSO), l'algorithme de recherche gravitationnelle ... etc. et on parle aussi dans cette section d'Algorithme de contrôle (régulateur PID) qui est utilisé dans cette mémoire pour trouver la bonne solution du problème de vibration de structure

Différentes théories de contrôle ont été mises en œuvre pour contrôler les structures, chacune étant efficace pour certaines structures et inefficace pour d'autres. La raison de cette variété de stratégies de contrôle est liée à de nombreux facteurs, tel que le modèle mathématique sur lesquels ils sont basés, la disponibilité des connaissances antérieures concernant la structure à contrôler. Ce chapitre présentera des algorithmes de loup gris utilisés dans le cadre de cette mémoire. À savoir le régulateur proportionnel, intégral, dérivé (PID), et voire le résultat

2.2 Algorithme de contrôle :

Le contrôle de force générée par un dispositif de contrôle actif nécessite l'implémentation d'un algorithme de contrôle approprié. Les performances des systèmes actifs dépendent de la robustesse de l'algorithme de contrôle, le contrôle de force optimale peut être calculé en utilisant différents algorithmes de contrôle, parmi plusieurs algorithmes de contrôle on peut citer : le Régulateur PID, et la théorie de loup gris sont deux techniques utilisées dans cette mémoire

2.3 Grey Wolf optimiser :

Tout d'abord on va discuter l'inspiration de la méthode proposée et en suite, le modèle mathématique donné

2.3.1 Inspiration :

Le loup gris (*Canis lupus*) appartient à la famille des canidés. Les loups gris sont considérés comme des prédateurs au sommet, ce qui signifie qu'ils sont au sommet de la chaîne alimentaire. Les loups gris préfèrent surtout vivre en meute. La taille du groupe est de 5 à 12 en moyenne. Il est

particulièrement intéressant de noter qu'ils ont une hiérarchie dominante sociale très stricte. (Voir figure 1)

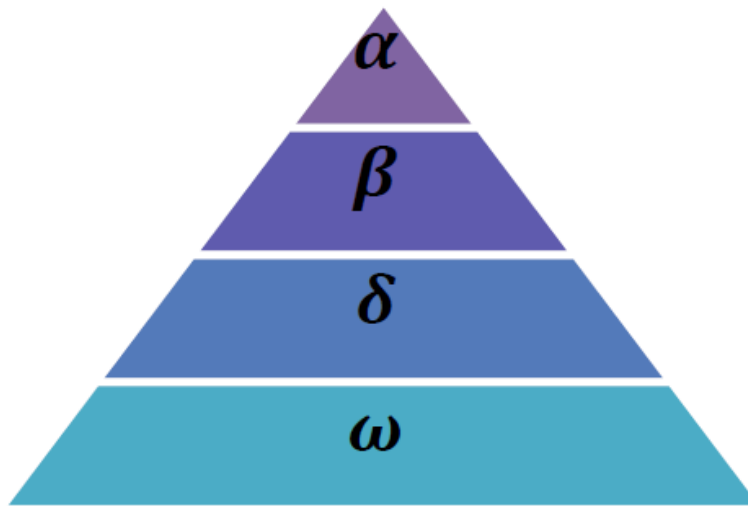


Figure 2.1 : Hiérarchie du loup gris

Les chefs de groupes sont une femme et un homme, appelées alpha. L'alpha est responsable de la prise de décisions concernant la chasse, le lieu de sommeil, le temps de se réveiller, ...etc. Les décisions de l'alpha sont dictées au pack. Cependant, une sorte de comportement démocratique a également été observé, dans lequel un alpha suit les autres loups de meute. Dans les rassemblements. L'ensemble de la meute reconnaît l'alpha en maintenant la queue baissée. Le loup alpha est aussi appelé le loup dominant puisque ses ordres doivent être suivis par la meute **L. D. Mech** [06]. Les loups alpha ne sont autorisés à s'accoupler que dans le pack.

Fait intéressant, l'alpha n'est pas nécessairement le membre le plus fort du pack, mais le meilleur en terme de gestion du pack, cela montre que l'organisation et la discipline d'un pack sont beaucoup plus importantes que sa force.

Le deuxième niveau de la hiérarchie des loups gris est la beta. Les betas sont des loups subordonnés qui aident l'alpha dans la prise de décision ou d'autres activités de meute. Le loup beta peut être mâle ou femelle, et il/ elle est probablement le meilleur candidat pour être l'alpha ou cas où l'un des loups alpha décède ou devient très vieux. La loupe beta doit respect l'alpha, mais commande également les autres loups de niveau inférieur. Il joue le rôle de conseiller de l'alpha et de discipline du pack et donne un retour à l'alpha

Le loup gris le moins bien classé est l'oméga. L'oméga joue le rôle de bouc émissaire. Les loups oméga doivent toujours se soumettre à tous les autres loups dominant. Ce sont les derniers

loux autorisés à manger. Il peut sembler que l'oméga n'est pas un individu important dans le pack, mais il a été observé que l'ensemble du pack est confronté à des combats interne et à des problèmes en cas de perte de l'oméga. Cela est dissipation de la violence et de la frustration de tous les loups par l'oméga. Cela aide à satisfaire l'ensemble du peloton et à maintenir la structure de domination. Dans certains cas, l'oméga est également le baby-sitter du pack

Si un loup n'est pas un alpha, une beta ou un oméga, il est appelé subordonné (ou delta). Les loups du delta doivent se soumettre à l'alpha et à la beta, mais ils dominent les omégas. Les scouts, sentinelles, anciens, chasseurs et gardiens appartiennent à cette catégorie. Les scouts sont chargés de surveiller les limites du territoire et d'avertir la meute en cas de danger. Les sentinelles protègent et garantissent la sécurité du pack. Les anciens sont les loups expérimentés qui étaient alpha ou beta. Les chasseurs aident les alphas et la beta lorsqu'ils chassent des proies et fournissent de la nourriture à la meute. Enfin les gardiens sont chargés de prendre soin des loups faibles malades et blessés dans la meute.

De plus la hiérarchie sociale des loups, la chasse en group est un autre comportement social intéressant des loups gris. **C. Muro, R. Escobedo, L. Spector, and R. Coppinger** [07]

Les principales phases de la chasse au loup gris sont suivantes :

- Suivre, chasser et s'approcher de la proie
- Poursuivre, encercler la proie jusqu'à ce qu'elle cesse de bouger
- Attaque contre la proie

Ces étapes sont illustrées à la figure 2.2

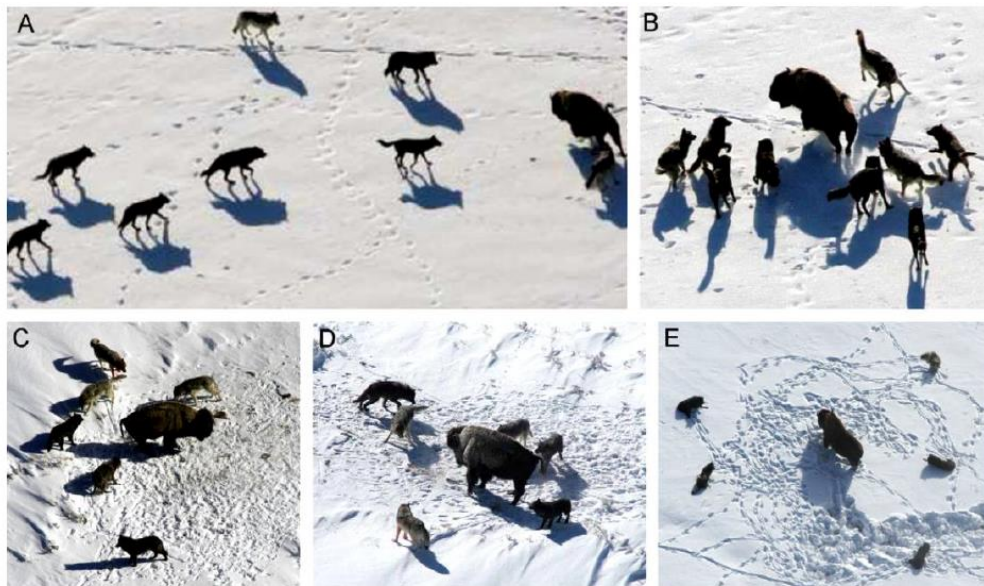


Figure 2.2 : (A) : comportement de la chasse des loups gris

(B_D) : chasser, approcher et suivre des proies pour chasser et encercler

(E) : situation stationnaire et attaque [07]

Cette technique de chasse et la hiérarchie sociale des loups gris sont modélisées mathématiquement afin de concevoir GWO et d'effectuer une optimisation.

2.3.2 Modèle mathématique et algorithme :

Les modèles mathématiques de la hiérarchie sociale, le suivi, l'encercler et l'attaque des proies sont fournis. Ensuite, l'algorithme GWO est décrit.

2.3.2.a) Hiérarchie sociale :

Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, nous considérons la solution la plus adapté comme l'alpha, par conséquent les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions sont respectivement nommées beta et delta. Les autres solutions candidates sont supposées être des omégas, Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par α , β et Ω . Les loups suivent ces trois loups.

2.3.2.b) proie encerclant :

Comme mentionné ci-dessus, les loups gris encerclent leurs proies pendant la chasse, afin de modéliser mathématiquement l'encercler comportement les équations suivantes est proposé :

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{Xp}(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{Xp} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.2)$$

Ou t indique l'itération actuelle et sont des vecteurs de coefficients X_p , et le vecteur de position de proie, X et indique le vecteur de position d'un loup gris

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r1} - \vec{a} \quad (2.3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r2} \quad (2.4)$$

Ou les composantes de sont diminuées linéairement de 2 à 0 au cours des itérations et r_1 , r_2 sont vecteurs aléatoires dans [0,1]

Pour voir les effets des équations (2.1) et (2.2), un vecteur de position bidimensionnel et certains des possibles les voisins sont illustrés sur la figure 2.3 (a), comme on voir sur cette figure un loup gris en position (X, Y) peut mettre à jour sa position en fonction de la position de proie (X^* , Y^*). Différents endroits autour du meilleur agent peuvent être atteinte par rapport à la position actuelle en ajustant la valeur de vecteur, par exemple (X^*-X , Y^*)

Peut être atteint A = (1,0) et C (1,1) en réglant les positions actualisées possibles d'un loup gris dans l'espace 3D, sont représenté sur la figure 2.3 (b), notez que les vecteurs aléatoires r_1 et r_2 et

permettent aux loups d’atteindre n’importe quelle position entre les points illustrés à la fig. 2.3, ainsi un loup gris peut mettre à jour sa position à l’intérieur de l’espace autour de la proie emplacement en utilisant les équations (2.1) et (2.2)

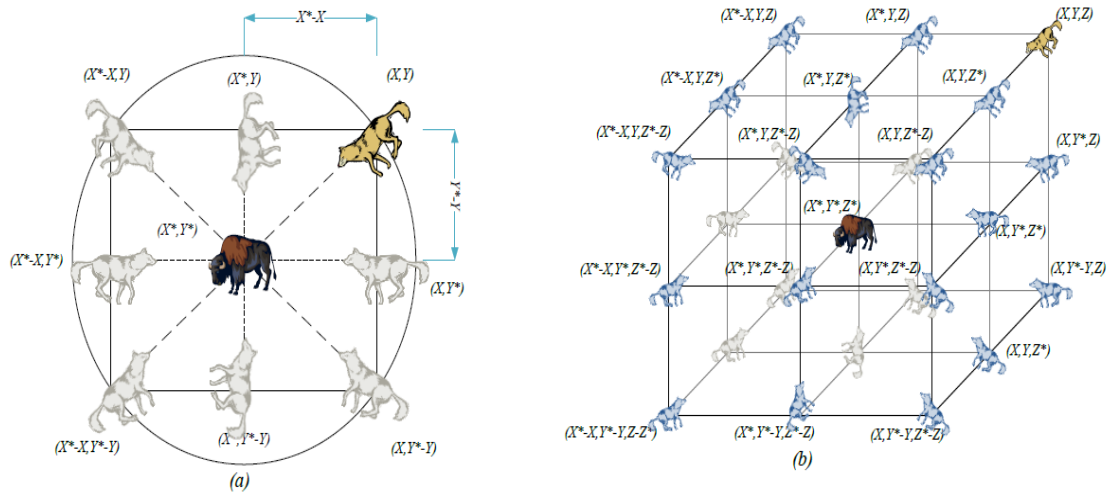


Figure 2.3 : Vecteurs de position 2D ,3D et leurs prochains emplacements possibles

Le même concept peut être étendu à un espace de recherche de n dimension, et les loups gris se déplaceront

Des hyper-cubes (ou hyper-sphères) autour de la meilleure solution obtenue à ce jour

2.3.2.c) Chasse :

Les loups gris ont la capacité de reconnaître l’emplacement des proies et de les encercler. La chasse est généralement guidée par l’alpha. La beta et le delta pourraient également participer à la chasse occasionnellement. Cependant, dans une recherche abstraite l’espace, nous n’avons aucune idée de l’emplacement de l’optimum (proie). Afin de simuler mathématiquement la chasse comportement des loups gris, nous supposons qu’alpha (meilleure solution candidate) delta et le delta ont mieux connaissance de l’emplacement

Potentiel des proies. Par conséquent, nous enregistrons les trois premières meilleures solutions obtenues jusqu’à présent et obliger les autres agents de recherche (sont les omégas) à mettre à jour leurs positions en fonction de la position de le meilleur agent de recherche. Les formules suivantes sont proposées à cet égard

$$D_\alpha = |C_1 \cdot X_\alpha - X|, D_\beta = |C_2 \cdot X_\beta - X|, D_\Omega = |C_3 \cdot X - X| \quad (2.5)$$

$$X1 = X_\alpha - A1 \cdot (D_\alpha), X2 = X_\beta - A2 \cdot (D_\beta), X3 = X_g - A3 \cdot (D_g) \quad (2.6)$$

$$X(t+1) = \frac{x1+x2+x3}{3} \quad (2.7)$$

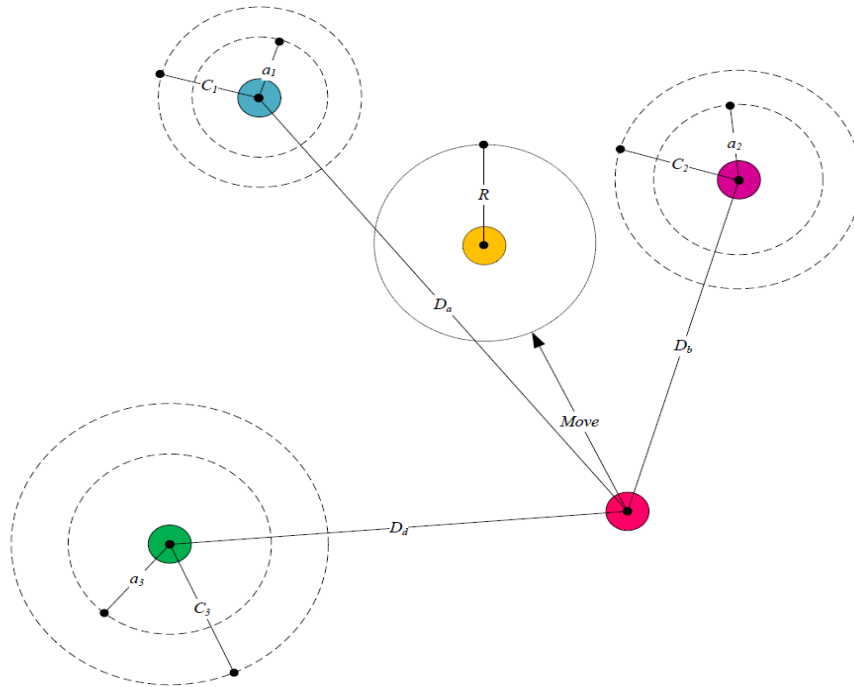


Figure 2.4 : Mise à jour de position dans GWO

La figure 2.4, montre comment un agent de recherche met à jour sa position en fonction de l’alpha, de la beta et du delta dans un espace de recherche 2D

On peut observer que la position finale serait à un endroit aléatoire dans un cercle qui est défini par la position alpha, delta et delta dans l’espace de recherche, en d’autre terme loups mettent à jour leurs position au hasard autour de la proie

2.3.2.d) Attaque de proie (exploitation) :

Les loups gris terminent la chasse en attaquant la proie lorsqu’elle cesse de se déplacer. Afin de modèle mathématique approchant la proie dont nous diminuons la valeur a. Notez que la plage de fluctuation de A est également diminuée de a, en d’autre terme A est une valeur aléatoire dans l’intervalle [-a, a] ou a est diminué de 2 à 0 au cours des itérations. Lorsque les valeurs aléatoires de sont dans intervalle [-1, 1], la position suivante d’un agent de recherche peut être dans n’importe quelle position entre sa position actuelle et la position de la proie. La figure 2.5 (a) montre que $|A| < 1$ force les loups pour attaquer vers la proie

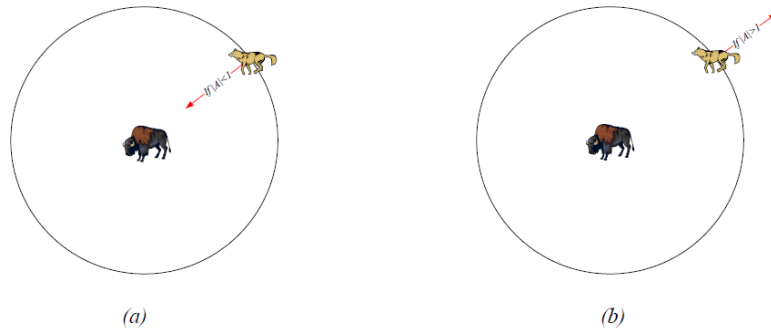


Figure 2.5 : Attaquer une proie ou chercher une proie

Avec ces opérations, l'algorithme GWO permet à ses agents de recherche de mettre à jour leur position en fonction de l'emplacement de l'alpha, de la beta et du delta ; et attaquer vers la proie. Cependant, l'algorithme GWO est sujette à la stagnation des solutions locale avec ces opérateurs, il est vrai que le mécanisme d'encerclement proposé montre l'exploration dans une certaine mesure, mais GWO a besoin de plus d'opérateur pour mettre l'accent sur l'exploration

2.3.2.e) Recherche de proie (exploration) :

Les loups gris recherchent principalement en fonction de la position de l'alpha, de la beta et du delta, ils divergent de chacun autre de recherche des proies et converge pour attaquer des proies. Afin de modéliser mathématiquement la divergence, nous utilisons avec des valeurs aléatoires supérieures à 1 ou inférieures à -1 pour obliger l'agent de recherche à s'écarter de la proie met l'accent sur l'exploration et permet à l'algorithme GWO d'effectuer une recherche globale. La figure 2.5 (b) montre également que $|A| > 1$ force des loups gris de s'écarter de la proie pour trouver, espérons une proie plus en forme, un autre composant de GWO qui favorise l'exploration est comme on peut le voir dans l'équation (2.4), le vecteur contient des valeurs aléatoires dans $[0, 2]$. Ce composant fournit des poids aléatoires pour les proies. Afin de souligner stochastiquement ($C > 1$) ou de désaccentuer ($C < 1$) l'effet des proies dans la définition de la distance dans l'équation (2.1), aidez GWO à montrer un comportement plus aléatoire tout au long de l'optimisation

Favorisant l'exploration et l'évitement des optima locaux. Il convient de mentionner ici que se n'est pas linéairement diminué contrairement à A. Nous avons délibérément besoin de C pour fournir des valeurs aléatoires à tout moment afin mettre l'accent sur l'exploration non seulement lors des itérations initiales mais aussi lors des itérations finales, ce composant est très utile en cas de stagnation optima locale, en particulier dans les itérations finales.

Le vecteur C peut également être considéré comme l'effet des obstacles à l'approche des proies dans la nature, généralement parlant les obstacles dans la nature apparaissent dans les

sentiers de chasse des loups et en fait les empêchent rapidement et s'approchant commodément des proies. C'est exactement ce que fait le vecteur C. Selon la position d'un loup, il peut aléatoirement donner un poids à la proie et la rendre plus difficile à atteindre pour les loups, ou vice versa.

Et pour meilleur compris algorithme GWO, en donne un pseudo-code qui expliquée un peu le mécanisme de cette algorithme ; [08] S. Mirjalili

```
Initialize the grey wolf population  $X_i$  ( $i=1,2, \dots, n$ )
Initialize a, A, and C
Calculate the fitness of each search agent
 $X_\alpha$ =the best search agent
 $X_\beta$ =the second best search agent
 $X_\delta$ =the third best search agent
While ( $t < \text{Max number of iterations}$ )
    for each search agent
        Update the position of the current search agent by equation (2.7)
    end for
    Update a, A, and C
    Calculate the fitness of all search agents
    Update  $X_\alpha, X_\beta$ , and  $X_\delta$ 
     $t=t+1$ 
end while
return  $X_\alpha$ 
```

Figure 2.6 : Le pseudo-code de l'algorithme GWO

2.4 Le régulateur proportionnel, intégral, dérivé (PID) :

Le régulateur PID sont largement utilisés dans le domaine industriel. En l'absence de la connaissance détaillée ou la représentation approximative des systèmes dynamiques, le PID est un bon choix de contrôleur, puisque ses paramètres d'ajustement peuvent être traduits en changement physique sur la dynamique du système

Cependant, en utilisant des approches avancées de modélisation et de contrôle, on peut développer des stratégies offrant beaucoup plus de robustesse par rapport au PID

De plus, comme pour tout système de contrôle réel, les entrées et souvent les sorties sont également limitées sur une gamme de fréquence bien définie qui dépend des capteurs et des actionneurs disponibles. De telles contraintes sont en pratique mise en œuvre en utilisant des limites de saturation, ceci introduit cependant un niveau de non-linéarité dans la loi de contrôle. La non linéarité de la loi signifie que les preuves de stabilité et d'optimalité ne s'appliquent plus

Pour un système à entrée unique et à sortie unique SISO, comme pour les autres régulateurs, la première étape d'un contrôleur PID consiste à calculer la valeur d'erreur $e(t)$ qui est la différence entre la référence désirée $r(t)$ et la sortie mesurée $y(t)$ *Guclu. Guclu et al.* [09], [10]

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2.8)$$

La forme générale d'un régulateur PID est donnée comme suite :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^{\infty} e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.9)$$

Le premier terme de l'équation est le terme proportionnel où l'erreur est multipliée par le gain proportionnel K_p , le second terme est le terme intégral, qui est multiplié par le gain intégral K_i ; ceci est suivi par le terme dérivé, multipliant la dérivée d'erreur par la constante dérivée K_d .

Un schéma en bloc de ce processus est présent sur figure 2.7 :

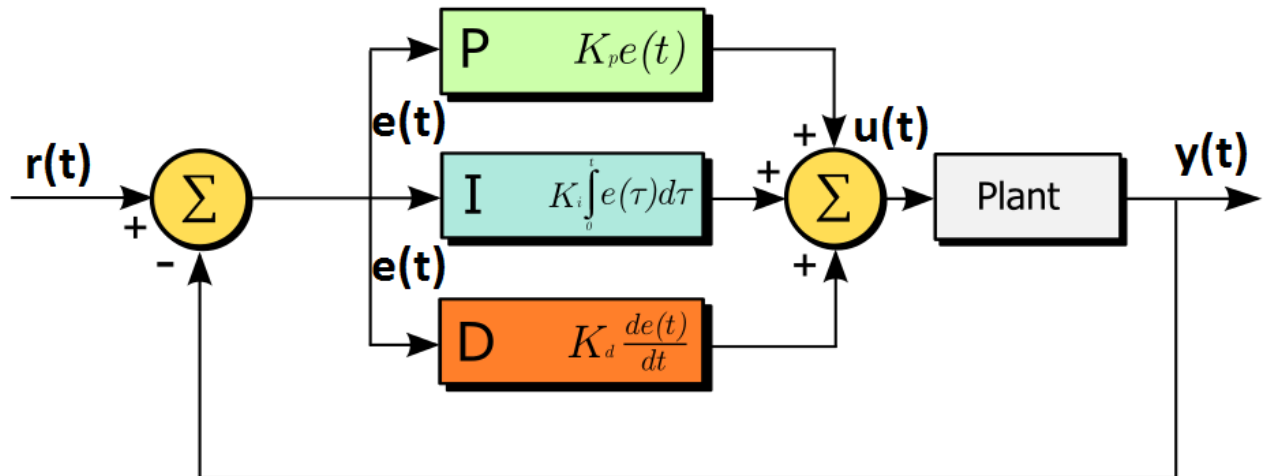


Figure 2.7 : Schéma de la composition du contrôleur PID

Les trois composantes du régulateur PID peuvent être interprétées comme suit :

- Le terme proportionnel P est lié à l'erreur actuelle
- Le terme intégral I est lié à l'historique de l'erreur ou passé, puisque l'intégrale exprime l'aire sous la courbe d'erreur ou en terme discret la somme de toutes les erreurs
 - Le terme dérivé D est lié à la future de l'erreur, la dérivée exprime le taux de variation ou de pente de la courbe d'erreur, créant une sorte de prédiction sur future valeur.

Le réglage du contrôleur PID est souvent réalisé en boucle fermée et sous une excitation d'impulsion unitaire comme vu sur la figure (2.8)

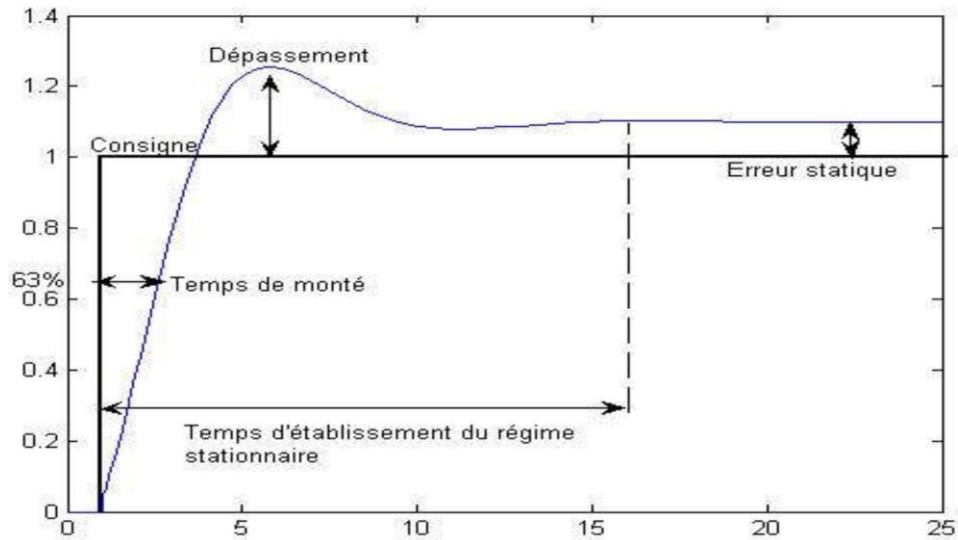


Figure 2.8 : Réponse du système sous excitation d'impulsion

Certaines notations sont représentées sur la figure (2.8) est décrites dans ce qui suit :

1. Temps de montée : le temps de montée est défini comme le temps nécessaire pour que la forme d'onde passe de 0,1 à 0,9 de sa valeur finale
2. Temps d'établissement : c'est le temps nécessaire pour que la réponse atteigne et demeure à 2% de sa valeur finale
3. Dépassement : c'est la quantité que la forme d'onde dépasse à l'état stationnaire ou sa valeur finale au pic de la réponse du système en pourcentage
4. Erreur statique : c'est la différence entre la réponse du système et la valeur unitaire d'excitation après stabilisation

L'analyse du système avec un PID est simple mais sa conception peut être délicate. Il existe différentes méthodes pour régler un contrôleur PID pour choisir les valeurs de K_p , K_i , K_d *Tinkir et al.[11]*. l'une des méthodes les plus utilisées est le processus itératif simple d'essai et d'erreur. L'utilisation d'un régulateur ne garantit pas la stabilité de la boucle de la boucle de contrôle et l'optimisation pour cela ces deux objectifs sont vérifiés par itération, pour montrer ces désavantages nous avons utilisé le contrôleur PID avec l'algorithme de GWO. Pour notre structure étudiée la référence désirée est la position d'équilibre, d'où la réponse structurelle est considérée comme erreur. *Hang et al.[12]. Wang et al[13]*

Il est évident de noter que le contrôleur PID approprié pour des structures à deux degrés de liberté, l'utilisation de ce contrôleur est plus délicate dans le cas des structures à plusieurs degrés de

liberté ceci est au chevauchement des boucles de contrôle. En boîte à outils (Toolbox) du logiciel MATLAB est inévitable pour concevoir un PID pour le système à plusieurs degrés de libertés [14] et [15].

2.5 Conclusion ;

On conclure cette partie , le processus de recherche commence par la création d'une population aléatoire de loups gris (solutions candidates) .Dans l'algorithme GWO , au cours des itérations , les loups alpha , beta et delta estiment la probabilité position de proie .Chaque solution candidat met à jour sa distance par rapport à la proie les paramètres sont diminué de 2 à 0 afin de mettre l'accent respectivement sur l'exploration et l'exploitation .Les solutions candidates ont tendance à diverger de la proie pour $A > 1$ et convergent vers la proie lorsque $A < 1$.

Le contrôleur PID est facile à implémenter notamment pour des systèmes SISO contrairement au système MIMO, en revanche pour les systèmes multi variable, son algorithme de contrôle devient plus complexe, ce qui rend inadapté aux applications comme le contrôle des vibrations des structures flexibles.

Les performance du contrôleur PID dépendent essentiellement du choix des paramètres K_p , K_i , K_d Si les paramètres du système à contrôler ne peuvent pas être atteints ou estimés avec précision les gains du contrôleur PID conçus peuvent ne pas résister aux incertitudes et aux perturbations externes et conduire à la déstabilisation du système

Chapitre III

Résultats et discussions

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre l'efficacité d'un algorithme de contrôle sera étudiés avec le régulateur PID, les résultats obtenus seront discutés et interprétés pour plusieurs paramètres dynamiques soigneusement choisis. Les paramètres étudiés seront les déplacements à la base du bâtiment, l'effort tranchant, le déplacement inter-étage et cela sous divers excitation sismique

3.2 Hypothèse et limitation :

Pour la formulation théorique et la modélisation de différents cas d'étude de contrôle de structure certaines hypothèses sont nécessaires pour mettre en évidence les caractéristiques importantes des structures et mécanisme de contrôle

- ✓ L'étude est faite selon le plan perpendiculaire de lecture en 2D pour que le problème puisse être simplifié en un problème de deux dimensions
- ✓ Le déplacement du sol est supposé se produire dans la direction des plans symétrique des structures
- ✓ Chaque structure est modélisée comme un système linéaire à plusieurs degré de liberté ou la masse est concentrée au niveau de chaque étage et la rigidité est assurée par les éléments structuraux

3.3 La résolution et modélisation numérique avec MATLAB :

En étudier dans cette partie l'efficacité d'un algorithme de contrôle sur un bâtiment équipé par un régulateur PID à divers emplacements. L'équation représentant le système du bâtiment sous excitation sismique est implémenté dans le module de simulation SIMULINK du logiciel MATLAB en utilisant la boîte à outils de la représentation d'état (state-space Toolbox) cette boîte à outils emploie le système continu pour résoudre l'équation du mouvement. L'intégration numérique est conduite en utilisant le solveur **Dormand-Prince** de 8^{ème} intégré SIMULINK. [16]

Djerouni, S

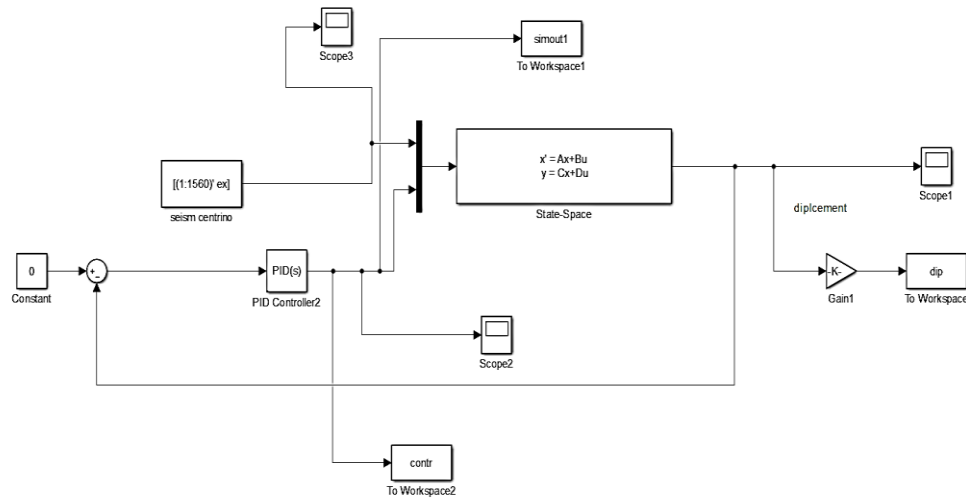


Figure 3.1 : fichier Simulink et la représentation d'état

Les équations mathématiques modélisant le comportement de structure utilisées dans ce mémoire sont reproduites dans un schéma SIMULINK en utilisant les divers blocs de bibliothèque proposée par SIMULINK (voir figure 3.1) montre la représentation des équations de l'espace d'état.

3.4 Description de la structure :

La structure étudiée est supposée être un portique à une travée pour des raisons de simplification,

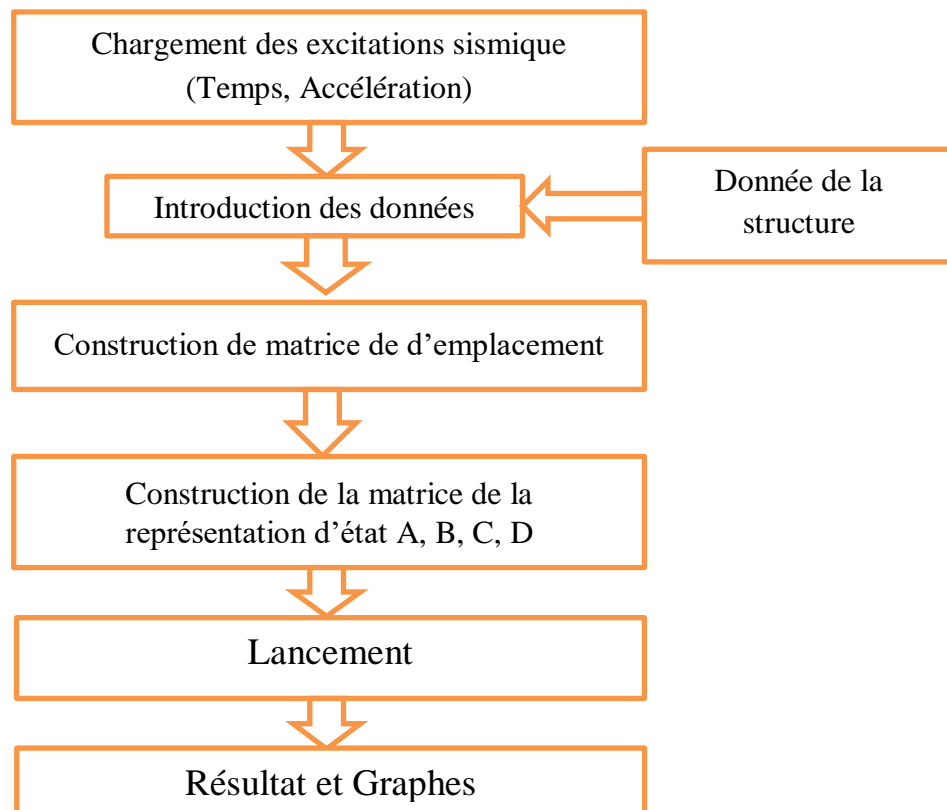


Figure 3.2 : Diagramme de résolution par MATLAB

3.5 Déplacement à la base :

3.5. a) Cas 01 : (sans contrôleur et avec contrôleur PID classique)

Après l'analyse effectuée pour la structure sans contrôler et structure avec le régulateur PID classique, on peut comparer les résultats du déplacement à la base étudié sous les excitations sismiques, les résultats sont représentés aux figures ci-dessous :

Séisme	Sans contrôle [cm]	Contrôle avec PID classique [cm]	Force de contrôle de PID classique (N)
El Centro	32	2,5	$0,7 \times 10^4$

Tableau 3.1 : Déplacement à la base de bâtiment [cm]

D'après le tableau (3.1), nous remarquons le déplacement à la base dans une structure équipée sans contrôle par rapport à une structure équipée avec un contrôleur PID classique permet de réduire les déplacements à la base du bâtiment. Cette réduction est proportionnelle à la force générée par le régulateur PID, la réduction est très importante pour les séismes de champ proche (El Centro)

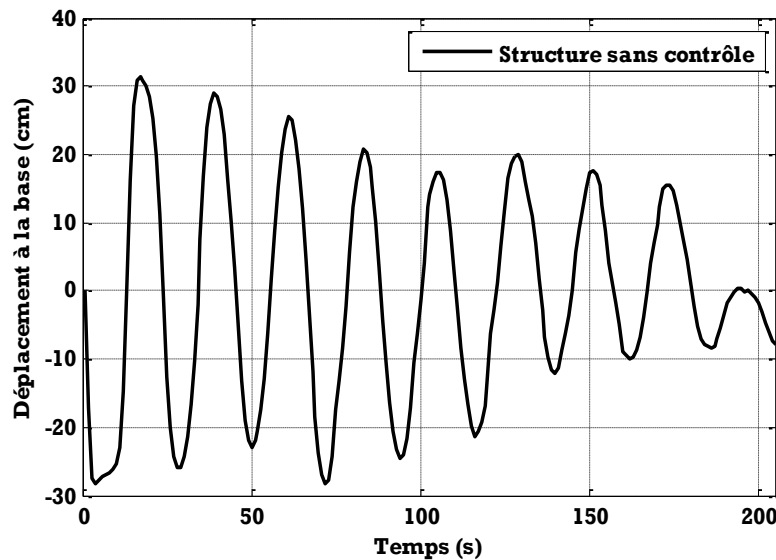


Figure 3.3 : Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro sans control.

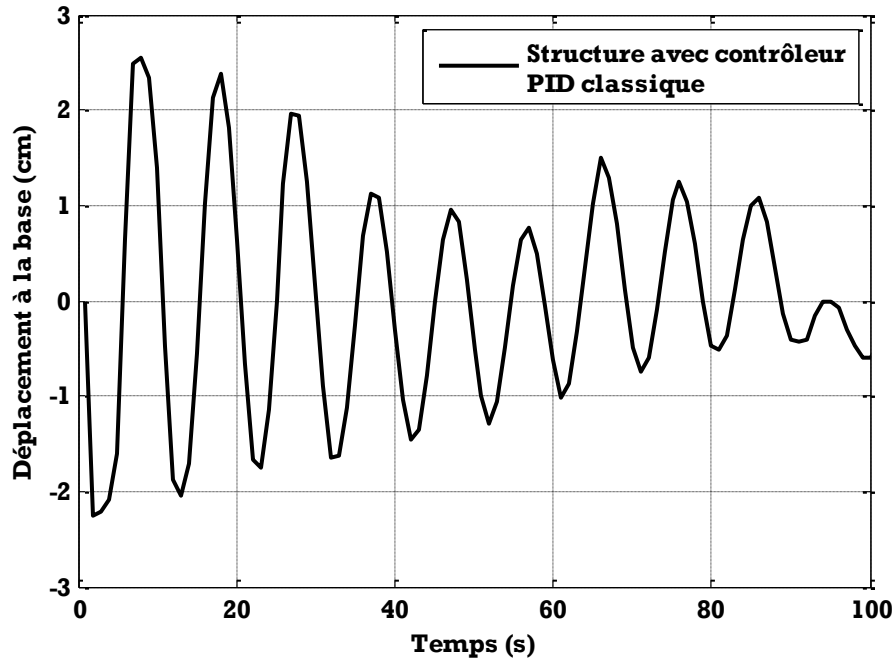


Figure 3.4 : Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro avec contrôleur PID classique.

Les figures (3.3) et (3.4) montrant clairement les résultats de tableau, ainsi le séisme donne de meilleurs résultat comparés au reste de séisme. Il est important de souligner excitation sismique la réduction obtenue pour de séisme de champs lointain (El Centro) est très important mais réduite après utilisation de contrôleur

Ces résultats sont obtenus sous les paramètres de contrôleur PID classique suivant :

$$K_p = -3186, \quad K_i = 118, \quad K_d = 0.000742$$

3.5. b) Cas 2 : (avec contrôleur PID optimisé par GWO) :

Tableau (3.2) montre la variation dans le déplacement à la base de structure étudiée sous l’excitation sismique considérée :

Séisme	PID classique [cm]	PID optimisé par GWO [cm]	Force du contrôleur PID optimisé GWO [KN]
El Centro	2,5	0,31	0,6

Tableau 3.2 : Déplacement à la base de bâtiment [cm]

Le tableau (3.2) montre une réduction claire dans les déplacements à la base du bâtiment équipé par un régulateur PID optimisé GWO par rapport à celui équipé par un régulateur PID classique. La diminution de déplacement est variée de 2,5 (PID classique) à 0,31 (PID optimisé par GWO), cette réduction pour un séisme de champ lointain (El Centro).

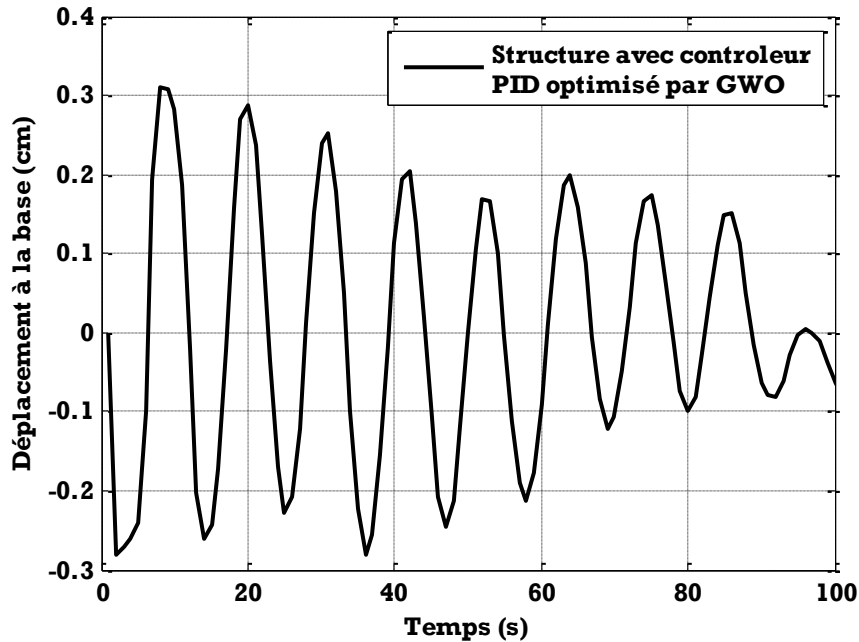


Figure 3.5 : Déplacement à la base du bâtiment sous excitation sismique de El Centro avec contrôleur PID optimise par GWO.

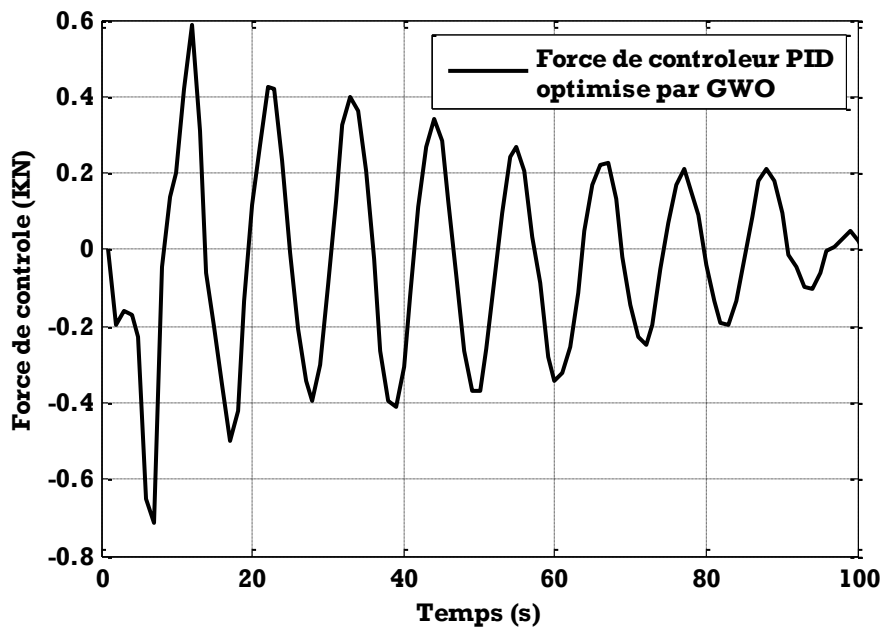


Figure3. 6: Force de contrôle obtenue par le PID optimise par GWO, sous l'excitation sismique d'El Centro.

Les figures (3.5) et (3.6) donnent le résultat de déplacement à la base du bâtiment sous excitation séismique (El Centro), le contrôleur PID optimisé par GWO est donne un très bon résultat à le contrôleur PID classique pour un séisme de champs lointain

3.6 Les paramètres de régulateur PID optimisé par GWO :

La fonction d’objective utilisé dans cette optimisation est de minimiser le déplacement à la base de bâtiment x [cm] jusqu’à zéro x_0 , le critère d’optimisation J est donné comme suivant :

$$J = \text{Min} \sum e^2 = \sum (x-x_0)^2$$

A partir de figure (3.7) on prendre les résultats de paramètre de régulateur PID (K_i , K_p , K_d) par rapport les nombres des itérations et à l’espace de recherche d’algorithme GWO les données sont détaillé on tableau suivante :

Tableau 3.3 : Paramètres d’optimisation de l’algorithme GWO

Paramètres de contrôleur PID	Nombres des itérations	Espace de recherche (ER) de l’algorithme GWO
$K_i = -480.3329$	200	$-600 < ER < 400$
$K_p = -426.3473$		
$K_d = 262.5355$		

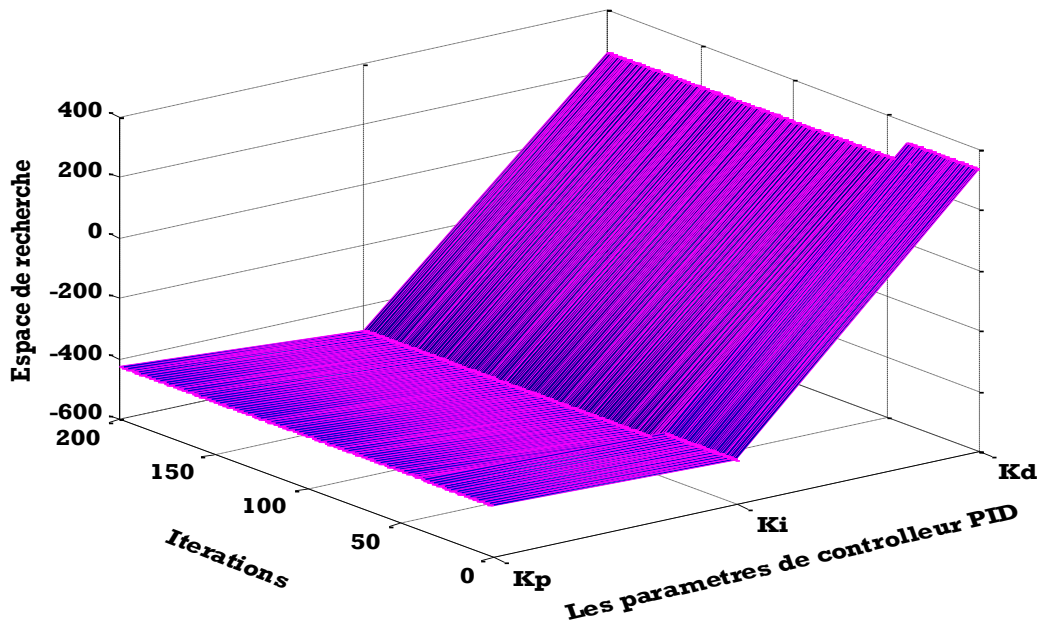


Figure 3.7 : Evolution de vecteur d’optimisation de l’algorithme GWO lors des itérations

En remarque que ; le meilleur score de GWO est diminué quand les nombres des itérations est augment (comme est montré à la figure (3.7), et le meilleur score est constant à partir de 60 itérations

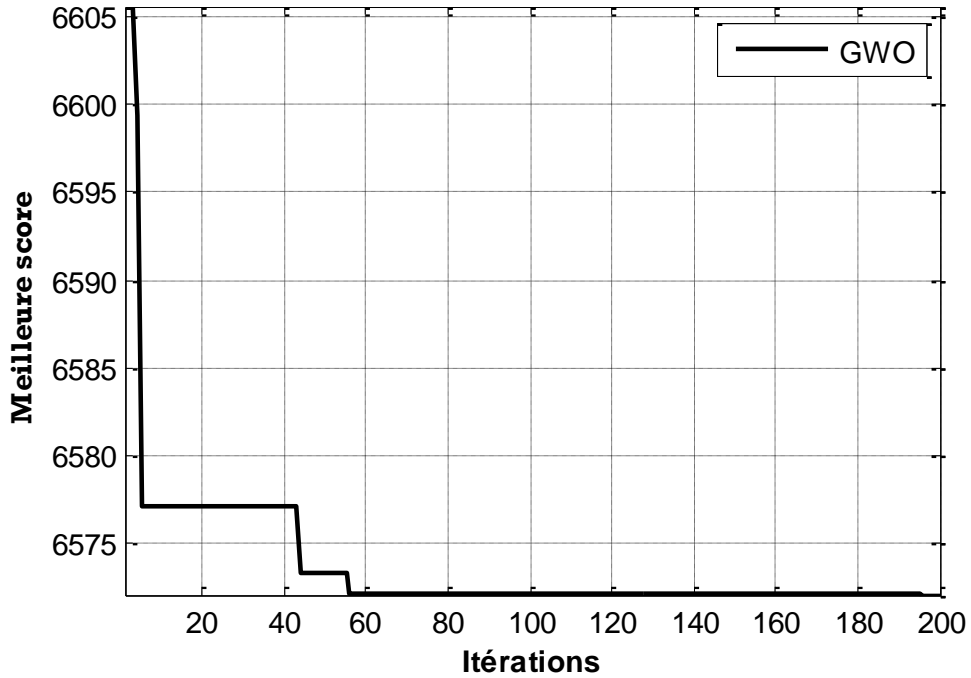


Figure 3.8 : Meilleur score de GWO pendant les itérations

La figure (3.8) est montrée la relation entre les itérations et le meilleur score, qui est une relation proportionnelle c.-à-d., le meilleur score est constant à 5 itération est commencez de diminution jusqu'à 60 itération qui fixé à la valeur de 6570 score.

Conclusion :

D'après les résultats obtenus et les variantes d'emplacement à la base de structure étudiée on conclure que ; l'utilisation de le régulateur PID classique avec une structure excitée par un séisme est négligeable par rapport à une structure non contrôler. La réduction maximale de déplacement à la base de la structure est faite avec le régulateur PID optimiser par GWO

Donc, le régulateur PID optimisé est donner un très bon résultat de déplacement à la base de la structure étudiée excité par un séisme, par rapport le régulateur PID classique, c.-à-d. ; le régulateur optimisé par GWO est agi sous la structure étudiier

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans ce travail, nous avons étudié l'efficacité d'un contrôleur PID pour le contrôle des systèmes intelligents, on applique l'algorithme de state-space pour un bâtiment de 8 étages, ce bâtiment (structures) a été excité par plusieurs excitations sismiques. Pour cela plusieurs démonstrations structurelles de bâtiment ont été étudiées, les équations différentielles des mouvements modélisées en 2D (bidimensionnelle) par la représentation d'état (state-space) ont été résolues en utilisant deux méthodes (PID classique / PID optimisée par GWO) pour présenter les performances des structures intelligentes contrôlées par GWO. Deux algorithmes de contrôle ont été utilisés dans cette mémoire, les deux algorithmes ont été comparés, appliqués la même force de contrôle et les résultats montrent que le régulateur PID optimisé est meilleur. Les conclusions tirées de cette mémoire peuvent être énumérées comme suit :

- ✓ Le contrôle actif de la structure intelligente peut être réduit proportionnellement
- ✓ L'utilisation optimale d'un contrôleur (PID classique / PID optimisée par GWO) est le facteur majeur pour un bon résultat de l'étude
- ✓ La réduction de la réponse du bâtiment est clairement visible pour le déplacement à la base
- ✓ La force produite par le contrôleur PID classique est proportionnelle à l'intensité du séisme
- ✓ L'accélération de l'excitation sismique de El Centro est proportionnelle au déplacement à la base du bâtiment
- ✓ Nous avons remarqué des réductions importantes après utilisation du régulateur PID optimisé par GWO pour des séismes de champ lointain

Enfin, l'utilisation d'un régulateur PID classique n'a pas donné un résultat satisfaisant. Donc vous devez ajouter un régulateur PID optimisé par GWO pour obtenir une meilleure réponse.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Références bibliographiques :

- [01] **Ogata, K.** (2010). *Modern Control Engineering*, Prentice Hall.
- [02] **Pourzeynali, S., H. Lavasani, and A. Modarayi**, Active control of high rise building structures using fuzzy logic and genetic algorithms. *Engineering Structures*, 2007. 29(3): p. 346-357.
- [03] **Kumar, A., B.S. Poonama, and V. Sehgalc**, Active vibration control of structures against earthquakes using modern control theory. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 2007. 8(3): p. 283-299.
- [04] **Yang, J.N., Z. Li, and S. Liu**, Instantaneous optimal control with acceleration and velocity feedback. *Probabilistic engineering mechanics*, 1991. 6(3-4): p. 204-211.
- [05] **Nagarajaiah, S. and S. Narasimhan**, Seismic control of smart base Isolated buildings with new semiactive variable damper. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2007. 36(6): p. 729-749.
- [06] **L. D. Mech**, "Alpha status, dominance, and division of labor in wolf packs," *Canadian Journal of Zoology*, vol. 77, pp. 1196-1203, 1999.
- [07] **C. Muro, R. Escobedo, L. Spector, and R. Coppinger**, "Wolf-pack (*Canis lupus*) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations," *Behavioural processes*, vol. 88, pp. 192-197, 2011.
- [08] **Seyedali Mirjalili, 2 Seyed Mohammad Mirjalili, 1 Andrew Lewis**; Grey Wolf Optimizer
- [9] **Guclu, R.**, Sliding mode and PID control of a structural system against earthquake. *Mathematical and Computer Modelling*, 2006. 44(1-2): p. 210-217
- [10] **Guclu, R.** and H. Yazici, Vibration control of a structure with ATMD against earthquake using fuzzy logic controllers. *Journal of Sound and Vibration*, 2008. 318(1-2): p. 36-49.
- [11] **Tinkir, M., M. Kalyoncu, and Y. Şahin**. [6] Deflection control of two-floors structure against northridge earthquake by using PI controlled active mass damping. In *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Trans Tech Publ.
- [12] **Hang et al. C K. Tan, and S. Ong**, A comparative study of controller tuning formulae. *IEE Proceedings, Part D*, 1979. 138(2): p. 111-118.
- [13] **Wang et al. Wang, Q.-G., et al.**, PID tuning for improved performance. *IEEE Transactions on control systems technology*, 1999. 7(4): p. 457-465.

Références Bibliographiques

[14] **Vivero, O.**, MIMO Toolbox for Use with MATLAB. 2006.

[15] **Astrom, K.J., K.H. Johansson, and Q.-G. Wang.** Design of decoupled PID controllers for MIMO systems. in American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001. 2001. IEEE.

[16] **Djerouni, S** (2017). Optimisation de la réponse sismique des bâtiments avec contrôle semi-actif par amortisseurs magnéto-rhéologiques (MR). Mémoire de Master en Génie civil, Université Mohamed khider – Biskra.