Étude théorique et réalisation pratique d'un système de "Bouncing Ball".

Résumé du travail de fin d'études présenté par

Renaud **Ronsse**

en vue de l'obtention du grade

d'ingénieur civil électricien

(orientation électronique).

Année académique 2001-2002

Ce travail se compose de deux parties distinctes: une étude théorique de la dynamique du "Bouncing Ball" et la réalisation pratique d'un tel dispositif. Le phénomène du "Bouncing Ball" présente le double avantage d'être non seulement très simple à modéliser en un système d'équations explicites (via la loi de Newton), mais en plus de présenter dans sa dynamique de nombreux phénomènes typiques de la théorie des systèmes non-linéaires. Il est donc un excellent exemple académique dans le cadre de la théorie des systèmes non-linéaires et est traité dans de nombreux articles publiés dans la littérature. Posséder un objet de démonstration obéissant aux lois du "Bouncing Ball" permet alors de faire le lien entre une observation expérimentale et une étude théorique de ces phénomènes.

La première partie de ce travail reprend certains des résultats théoriques existant dans la littérature. Le premier chapitre décrit le phénomène étudié: une balle qui rebondit sur une table vibrant selon une loi sinusoïdale. Après un premier constat visuel: il existe une série de bifurcations dans la dynamique de la balle, un premier modèle est proposé pour décrire ce phénomène de rebonds par une double équation. Ce modèle peut néanmoins être simplifié (par l'écriture d'un second modèle) afin de rendre le système d'équations explicite.

Le chapitre deux étudie un premier phénomène typique des systèmes non-linéaires que l'on rencontre avec le "Bouncing Ball": le doublement de période. En augmentant progressivement l'amplitude de vibration, le mouvement de la balle bifurque d'une situation de période "simple" (les rebonds ont tous lieu à la même hauteur) en une situation de période "double" (deux hauteurs alternées).

Le chapitre trois établit que la simplification proposée au chapitre précédent est justifiée dans un certain domaine de l'espace des paramètres.

Le chapitre quatre se penche sur une technique contre-intuitive qui permet de supprimer le doublement de période sur un petit domaine au-delà du point de bifurcation, ce par l'ajout d'une petite perturbation qui entrera en résonance avec la dynamique propre de la balle.

De plus, le comportement chaotique qui peut être observé dans le mouvement d'un "Bouncing Ball" lorsque l'amplitude atteint un certain niveau est également modélisé par le système d'équations. Le chapitre cinq étudie ce fait.

La seconde partie de ce travail regroupe tous les développements pratiques effectués: la première réalisation est un simulateur de mouvement pour le "Bouncing Ball" qui calcule les impacts successifs via une méthode numérique: en effet, ce simulateur ne tient pas compte de la simplification rendant les équations explicites et est donc plus "général". Le chapitre six présente ce simulateur.

Le chapitre suivant décrit l'appareil usiné qui permet de visualiser le comportement du "Bouncing Ball": un mobile en plastique coulissant sur un rail à coussin d'air et percutant un piston se trouvant à sa base (qui joue le rôle de la table vibrante). Le piston développé se base sur le principe de la "bielle-manivelle", mais dédoublé afin de donner à l'utilisateur un contrôle sur la fréquence d'oscillation, ainsi que sur l'amplitude de cette oscillation.

Le chapitre huit décrit l'algorithme de régulation qui permet d'atteindre une consigne en amplitude et en fréquence, donnée par l'utilisateur. Ce contrôle est effectué par un microcontrôleur, attaché à l'objet construit et fonctionnant de manière autonome.

Le dernier chapitre reprend l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus à l'heure actuelle en expliquant les limites de l'appareil. Ce travail se termine par une liste d'améliorations qu'il faudrait apporter à cet appareil pour lui permettre de modéliser les phénomènes théoriques étudiés avec plus d'exactitude.

Le fait que ce travail se partage entre une étude théorique et une réalisation pratique fut son plus grand avantage. L'ensemble des tâches effectuées a permis de toucher à de larges domaines des sciences appliquées (mécanique, électronique, informatique,…) tout en coexistant avec une étude théorique sérieuse. De plus, le fait d'avoir abouti à la construction d'un appareil robuste, efficace et simple d'utilisation, permet de valoriser le travail effectué et le matériel de recherche…

Juin 2002