

Projet Chaos

Billard Carré avec Barre Centrale

Jun Nuo Chi, Nathan Dwek

Ecole Polytechnique de Bruxelles

8 janvier 2014

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au
Repos

Barre Centrale
Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Projet Chaos
Billard Carré avec Barre Centrale

Jun Nuo Chi, Nathan Dwek
Ecole Polytechnique de Bruxelles
8 janvier 2014

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└ Introduction

└ Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Introduction

└─ Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au
Repos

Barre Centrale
Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└ Introduction

└ Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

Projet Chaos

Introduction

Introduction

2013-12-30

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Introduction

Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal
 - ▶ Paramètres de respiration de la barre:
 $I = I_0(1 + \sin(\omega t))$

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Introduction

Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal
 - ▶ Paramètres de respiration de la barre:
 $I = I_0(1 + \sin(\omega t))$

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal
 - ▶ Paramètres de respiration de la barre:
 $I = I_0(1 + \sin(\omega t))$
 - ▶ Conditions initiales de la balle: position et vitesse initiales

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Introduction

Introduction

Introduction

Théorie du Chaos - But du Projet

- ▶ Système déterministe mais non prédictible à long terme
 - ▶ Possède des équations d'évolution déterministes
 - ▶ Sensible aux conditions initiales
 - ▶ Non linéaire (superposition non applicable)
- ▶ Applications dans de nombreux domaines: météorologie, finance, mécanique . . .
- ▶ Etude du mouvement d'une balle dans un billard carré muni d'une barre centrale respirante en fonction des paramètres du système:
 - ▶ Orientation du billard: vertical ou horizontal
 - ▶ Paramètres de respiration de la barre:
 $I = I_0(1 + \sin(\omega t))$
 - ▶ Conditions initiales de la balle: position et vitesse initiales

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant
 - Rebond sur une paroi extérieure du billard:
 - $x = \pm \frac{L}{2}$ ou $y = \pm \frac{L}{2}$
 - Simple inversion de la vitesse selon une des coordonnées

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant
 - Rebond sur une paroi extérieure du billard:
 - $x = \pm \frac{L}{2}$ ou $y = \pm \frac{L}{2}$
 - Simple inversion de la vitesse selon une des coordonnées

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant
 - Rebond sur une paroi extérieure du billard:
 - $x = \pm \frac{L}{2}$ ou $y = \pm \frac{L}{2}$
 - Simple inversion de la vitesse selon une des coordonnées
 - Rebond sur la barre centrale:
 - $|x| \leq l_0(1 + \sin(\omega t))$ et $y = 0$
 - Transfert de quantité de mouvement avec $m_{barre} \gg m_{balle}$:

$$\begin{cases} \dot{x}^+ = C\dot{x}^- + (\text{sgn}(x))(1 + C)\cos(\omega t)\omega \\ \dot{y}^+ = -C\dot{y}^- \end{cases}$$

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Modélisation

Modélisation

here

Modélisation

Modélisation du Mouvement et des Rebonds - Résolution Numérique

- Mouvement composé d'une suite de déplacement continus:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

- Déplacement interrompu par un rebond qui définit les conditions initiales pour le déplacement suivant
 - Rebond sur une paroi extérieure du billard:
 - $x = \pm \frac{L}{2}$ ou $y = \pm \frac{L}{2}$
 - Simple inversion de la vitesse selon une des coordonnées
 - Rebond sur la barre centrale:
 - $|x| \leq l_0(1 + \sin(\omega t))$ et $y = 0$
 - Transfert de quantité de mouvement avec $m_{barre} \gg m_{balle}$:
$$\begin{cases} \dot{x}^+ = C\dot{x}^- + (\text{sgn}(x))(1 + C)\cos(\omega t)\omega \\ \dot{y}^+ = -C\dot{y}^- \end{cases}$$

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable

Projet Chaos
J. Chi, N. Dwek

Introduction
Modélisation
Barre Centrale au Repos
Barre Centrale Respirante
Conclusion

2013-12-30
Projet Chaos
└─ Modélisation
└─ Modélisation

here

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation
Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos
 - ▶ Chaos en $x \Rightarrow$ chaos en y
 - ▶ Barre au repos \Rightarrow mouvement en x régulier

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Modélisation

└─ Modélisation

here

Modélisation
Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\rightleftharpoons y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos
 - ▶ Chaos en $x \Rightarrow$ chaos en y
 - ▶ Barre au repos \Rightarrow mouvement en x régulier

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\Rightarrow y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos
 - ▶ Chaos en $x \Rightarrow$ chaos en y
 - ▶ Barre au repos \Rightarrow mouvement en x régulier
 - ▶ Chaos en $x \overset{?}{\Leftrightarrow}$ chaos en $y \rightarrow$ A vérifier!

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

Modélisation

Modélisation

here

Modélisation

Considérations Théoriques

- ▶ Pas de transfert de quantité de mouvement en $x \rightleftharpoons y$ ou système $\Rightarrow y$
 - ▶ Si $g = 0$: Conservation de $|\dot{y}|$
 - ▶ Si $g \neq 0$: Conservation de $y_{max} = \frac{\dot{y}^2}{2} + gy$
 - ▶ Zone $y > y_{max}$ inaccessible
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \leq 0$: pas d'interaction avec la barre
 - ▶ Cas dégénéré $y_{max} \gg \frac{L}{2}$: influence de la gravité négligeable
- ▶ Mouvements en x et en y quasi indépendants
- ▶ Identification des sources probables de chaos
 - ▶ Chaos en $x \Rightarrow$ chaos en y
 - ▶ Barre au repos \Rightarrow mouvement en x régulier
 - ▶ Chaos en $x \overset{?}{\Leftrightarrow}$ chaos en $y \rightarrow$ A vérifier!

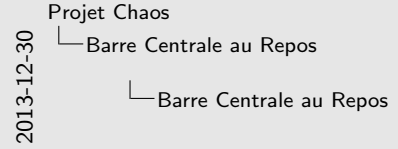
Barre Centrale au Repos

Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière

Projet Chaos
J. Chi, N. Dwek

Introduction
Modélisation
Barre Centrale au Repos
Barre Centrale Respirante
Conclusion



here

Barre Centrale au Repos
Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière

Barre Centrale au Repos

Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière
- ▶ Billard vertical:
 - ▶ Mouvement toujours régulier en x
 - ▶ Mouvement en y:

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Barre Centrale au Repos

└─ Barre Centrale au Repos

here

Barre Centrale au Repos

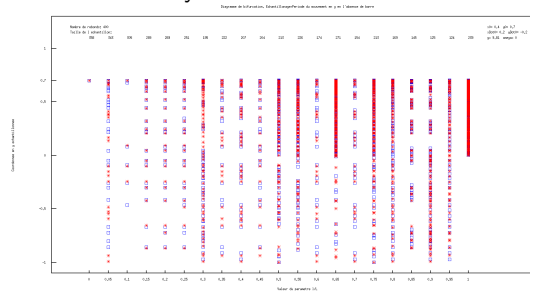
Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière
- ▶ Billard vertical:
 - ▶ Mouvement toujours régulier en x
 - ▶ Mouvement en y:

Barre Centrale au Repos

Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière
- ▶ Billard vertical:
 - ▶ Mouvement toujours régulier en x
 - ▶ Mouvement en y:



Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└ Barre Centrale au Repos

└ Barre Centrale au Repos

here

Barre Centrale au Repos

Observations

- ▶ Billard horizontal:
 - ▶ Mouvement régulier en x et en y comme attendu
 - ▶ Deux états échantillonnables en y qui s'enchaînent de manière régulière
- ▶ Billard vertical:
 - ▶ Mouvement toujours régulier en x
 - ▶ Mouvement en y:

Barre Centrale au Repos

Interprétation dans le Cas Billard Vertical

- ▶ Mouvement formé d'une suite de trois "cycles" dont deux de longueur indépendante en y
 - ▶ Infinité d'états échantillonnables
 - ▶ Période potentielle = combili naturelle des longueurs de ces trois cycles
 - ▶ Vérifié par des simulations
 - ▶ Période peut être très longue \Rightarrow indicateur de la transition vers le chaos
 - ▶ Mais une telle période ne semble pas toujours exister

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au Repos

Barre Centrale Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└─ Barre Centrale au Repos

└─ Barre Centrale au Repos

here

Barre Centrale au Repos
Interprétation dans le Cas Billard Vertical

- ▶ Mouvement formé d'une suite de trois "cycles" dont deux de longueur indépendante en y
 - ▶ Infinité d'états échantillonnables
 - ▶ Période potentielle \Rightarrow combili naturelle des longueurs de ces trois cycles
 - ▶ Vérifié par des simulations
 - ▶ Période peut être très longue \Rightarrow indicateur de la transition vers le chaos
 - ▶ Mais une telle période ne semble pas toujours exister

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au
Repos

**Barre Centrale
Respirante**

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos

└ Barre Centrale Respirante

Projet Chaos

J. Chi, N. Dwek

Introduction

Modélisation

Barre Centrale au
Repos

Barre Centrale
Respirante

Conclusion

2013-12-30

Projet Chaos
└─ Conclusion