**INSTRUCTIONS POUR LE PROJET**

(version 1.0 du 23.10.2015)

|  |
| --- |
| Le projet est à achever pour le : 18/12/2015 à midi  La pondération est de : 20 %  La règle pour le report de cote ou la dispense en 2nde session est : >=5/10  Les étudiants bisseurs qui ont obtenu au minimum la cote de : 5/10 au cours de l’année académique 2014-2015 sont dispensés.  Il n’y a pas de défense orale.  Vous pouvez poser toutes questions à [cfao.matlab@ulb.ac.be](mailto:cfao.matlab@ulb.ac.be) (délai de réponse 24 h max)  Des permanences seront organisées et annoncées par mail (si vous avez remis une adresse e-mail lors de votre inscription).  Une semaine avant la remise du projet, un support par instant messaging sera ouvert (via skype). |

*Le délivrable est :*

1. un rapport lisible sous format pdf ou word ou équivalent : le rapport doit contenir les diagrammes de bifurcation pour le ou les paramètres qui sont à l’origine du chaos illustrés de sections de Poincaré ou de diagrammes de phases pour clairement identifier les zones chaotiques des zones non chaotiques. Soyez CONCIS. Sur la page de garde du rapport préciser le logiciel choisi : SCILAB, MATLAB, OCTAVE ou PYTHON.
2. Ajoutez les codes les plus pertinents que vous aurez utilisés pour réaliser la section de Poincaré ou le diagramme de bifurcation. Ils doivent être copiables pour permettre de les tester.
3. Interprétez et expliquez les graphes obtenus, justifiez le sens physique de ce que vous observez
4. Si vous souhaitez fournir des animations, des films pour illustrer votre propos, fournissez-les de manière séparée.
5. Encapsulez le tout dans un fichier dans un format compressé standard dont le nom sera ProjetX\_NomEtudiant1\_NomEtudiant2.zip
6. à envoyer électroniquement par mail à [cfao.matlab@ulb.ac.be](mailto:cfao.matlab@ulb.ac.be)
7. Le rapport est limité à 5 pages, sans compter les graphiques.

*Ce qui est attendu de vous dans le rapport :*

Faites un choix de paramètre qui fera apparaître le chaos et tracez le diagramme de bifurcation pour ce paramètre en mettant en évidence les zones à chaos, les zones de transitions vers le chaos et les zones à mouvement périodique. Comme expliqué au cours, la sensibilité aux conditions initiales est une condition nécessaire au chaos. Superposer 3 diagrammes de bifurcations, correspondant à trois conditions initiales très proches, est utile : si vous attribuez une couleur de graphe par condition initiale, la zone de non-superposition des couleurs (quand vous superposez les trois diagrammes de bifurcation) vous indiquera presque à coup sûr une zone à chaos.

Pour chacune de ces zones (chaotique, transition et périodique), tracez une section de Poincaré témoin qui démontrera le caractère chaotique ou non-chaotique des valeurs du paramètre qui caractérise la zone, en prenant une valeur du paramètre qui tombe dans la zone en question. Tout autre diagramme qui vous permet d’illustrer votre propos est le bienvenu (évolution en fonction du temps ou plan des phases).

Une fois le diagramme de bifurcation tracé, il est intéressant d’examiner l’influence des autres paramètres sur ce dernier. Vous ne devez pas examiner tous les paramètres. Vous pouvez vous limiter à celui ou ceux qui, selon vous, exercent une influence prédominante en expliquant dans le rapport pourquoi vous faites ce choix. Un paramètre qui aura une influence prédominante sera par exemple le frottement.

Si plus qu’un paramètre fait apparaître le chaos, répétez l’opération (des 3 paragraphes ci-dessus) pour cet autre ou ces autres paramètres (n’oubliez pas qu’à l’exception du projet à deux degrés de liberté, les projets sont des systèmes motionnels à un degré de liberté).

Prenez des valeurs réalistes pour les paramètres : il ne doit, par exemple, pas y avoir un rapport de 1 à 10 000 entre les valeurs des paramètres

Avant de commencer les calculs, veillez à réduire et grouper les paramètres. Par exemple, si votre équation est du type :

Réduisez-la d’abord à

Il n’y a plus que deux paramètres à tester : l et

|  |
| --- |
| ***Une tactique pour progresser dans le projet :***   Vous avez vu, lors des séminaires du 9 et du 17/10/2015,  4 manières de représenter la solution du mouvement (à savoir l’évolution du ou des degrés de liberté du système)  1.       l’évolution de la solution (position et vitesse) en fonction du temps,  2.       le plan des phases (la vitesse en fonction de la position),  3.       la section de Poincaré depuis le plan des phases (la vitesse en fonction de la position échantillonnée)  4.       le diagramme des bifurcations (qui n’est autre que la réduction à 1-D de la section de Poincaré par valeur du paramètre qui caractérise la section de Poincaré)  Commencez par l’évolution en fonction du temps pour voir si le mouvement vous semble périodique ou en transition vers le chaos (doublement, triplement de période). Utilisez le critère (condition nécessaire) de sensibilité aux conditions pour confirmer/infirmer votre intuition. Le plan des phases vous permet aussi d’y voir clair et même de trouver d’autres phénomènes à côté du chaos, par exemple :  -          Un mouvement périodique sera une courbe fermée (différente selon la condition initiale).  -          Un cycle limite (un mouvement stationnaire de type régime) sera une courbe vers laquelle la trajectoire tendra toujours quelle que soit la condition initiale.  Si l’équation ne dépend pas du temps, la courbe ne se coupera jamais dans le plan des phases. Toujours dans le cas où il n’y a pas de dépendance explicite par rapport au temps, quelle que soit la condition initiale, la courbe dans le plan des phases correspondante à une condition initiale ne coupera jamais une autre courbe correspondant à une autre condition initiale.  Vous pensez avoir trouvé des valeurs de paramètre qui donnent un mouvement chaotique ? Confirmez avec une section de Poincaré en jouant sur la période d’échantillonnage pour améliorer l’esthétique de la section de Poincaré (qui doit être, dans le cas d’un mouvement chaotique, une courbe fractale). Attention : une période d’échantillonnage trop faible donnera tellement de points qu’il vous semblera retrouver la courbe dans le plan des phases.  Dans une zone à chaos,  certaines conditions initiales peuvent donner lieu à un mouvement chaotique, d’autres pas. Si vous superposez les sections de Poincaré correspondantes à ces conditions initiales, vous verrez immédiatement la différence.  Quand vous avez suffisamment balayé les valeurs des paramètres, résumez le tout sur un diagramme de bifurcations qui peut être vue comme une projection sur l’axe y de la section de Poincaré pour différentes valeurs du paramètres.  *En conclusion, utilisez donc les 4 outils suivants :*  Outil n°1 : Evolution en fonction du temps est un graphe (t, x(t))) ou  dx/dt(t))  Outil n°2 : Plan des phases est un graphe : (x(t), dx(t)/dt)  Outil n°3 : Section de Poincaré est un graphe :  (x(T), dx(T)/dt où, par exemple, T=2./  Outil n°4: Diagramme de bifurcation comme par exemple :  (A.w2, x(T))  Comme votre projet est à deux degrés de libertés vous pouvez limiter l’utilisation des outils à un seul de ces degrés de liberté. Les deux degrés de liberté étant couplés, ce que vous trouverez en terme de section de Poincaré, plan des phases, diagramme de bifurcation sur un des degrés de liberté vaudra pour l’autre (du moins qualitativement).  Ceci dit, il se peut que vous soyez dans une configuration des paramètres et une modélisation qui ne donne pas de chaos. Dans ce cas, convainquez le lecteur que vous avez tout essayé pour le trouver.  ***Vous êtes perdu devant la quantité de paramètres à tester ?***  Utilisez votre fibre ingénieur ! Commencez par tester les valeurs des paramètres dont vous pouvez dire que vous y avez le plus facilement accès. S’il est question dans votre projet d’un mouvement forcé, on peut considérer qu’il s’agit d’un moteur pour lequel vous pouvez facilement modifier A ou la vitesse angulaire w. |