

# Curriculum Vitae d'Alain Chenciner

## 1 Postes occupés

Alain Chenciner, né le 23 octobre 1943 à Villeneuve sur Lot (47), nationalité française

1963-1965 Elève à l'Ecole Polytechnique

1966-1971 Attaché de recherche au CNRS; membre du Centre de Mathématiques créé par Laurent Schwartz à l'Ecole Polytechnique

1971 Docteur es Sciences Mathématiques (thèse à Orsay sous la direction de Jean Cerf; jury : Henri Cartan, Jean Cerf, René Thom, Laurent Schwartz)

1971-1973 Maître de conférences à l'Université d'Orsay

1973-1975 Maître de conférences à l'Université Paris VII

1975-1978 Maître de conférences à l'Université de Nice

1978-1981 Maître de conférences à l'Université Paris VII

1981-1991 Professeur de première classe à l'Université Paris VII

1991-2012 Professeur en Classe exceptionnelle à l'Université Paris VII

A partir de septembre 2012, Professeur émérite à l'Université Paris VII et chercheur associé à l'Observatoire de Paris.

## Astronomie et Systèmes Dynamiques



**1988-1991 : Séminaire lecture des  
Méthodes Nouvelles de la  
Mécanique Céleste**

**1992 : Création de ASD :**  
*réunir en un même lieu praticiens et  
théoriciens de la mécanique céleste.*



Jacques Laskar/Alain Chenciner

**JE 337**



J'ai dirigé avec Jacques Laskar l'équipe de recherche A.S.D. (*Astronomie et Systèmes Dynamiques*) que nous avons créée en 1992, jusqu'à ma retraite en octobre 2012. Réunissant une quinzaine d'astronomes et de mathématiciens, cette équipe fait partie de l'Institut de Mécanique Céleste (IMCCE) de l'Observatoire de Paris (UMR 8028 du CNRS). Sa vitalité, intacte depuis sa création, a beaucoup contribué à maintenir mon enthousiasme pour la recherche.

## 2 Comités éditoriaux.

*Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften* (Springer) : managing editor.

*Nonlinearity* jusqu'en 2017

*NoDEA* jusqu'en 2016

*Regular and Chaotic Dynamics* jusqu'en

Co-éditeur des volumes :

*Celestial Mechanics, Dedicated to Donald Saari for his 60th Birthday*, Proceedings of an International Conference on Celestial Mechanics, December 15-19 1999, Northwestern University, Evanston, Illinois, Alain Chenciner, Richard Cushman, Clark Robinson, Zhihong Xia, Editors, Contemporary Mathematics, 292, AMS (2002)

Numéro spécial de la "*Gazette des mathématiciens*" dédié à René Thom.

Œuvres mathématiques de René Thom (Société Mathématique de France): le premier volume est paru en 2017, le deuxième en 2019, le troisième et dernier en 2022.

### 2.1 Organisation de colloques internationaux depuis 1999.

Conférence internationale *The determination of homoclinic trajectories in Hamiltonian systems and Arnold's diffusion* qui a eu lieu du 6 au 17 septembre 1999 à l'IHES (avec Giovanni Gallavotti et Jacques Laskar) ;

Conférence internationale de mécanique céleste, Chicago (Northwestern University, pour les 60 ans de Don Saari) du 15 au 19 décembre 1999 (avec Clark Robinson et Jeff Xia) ;

Conférence internationale en l'honneur de Michel Herman, IHP Paris du 4 au 8 novembre 2002 ;

Conférence AIM sur les méthodes variationnelles, Palo Alto du 9 au 14 juin 2003 (avec Richard Montgomery) ;

Colloque pour les 60 ans de Marc Chaperon, IHP janvier 2010 ;

Journée Poincaré organisée à l'Observatoire de Paris le 9 juillet 2012

## 2.2 Comités scientifiques de colloques internationaux depuis 1999.

Colloque international *Géométrie au XX<sup>ème</sup> siècle, 1930-2000*, du 24 au 28 Septembre 2001 à l'Institut Henri Poincaré (Paris) ;  
Conférence internationale *Modern Theory of Dynamical Systems and Celestial Mechanics* en l'honneur d'Alexeyev, Moscou, 23-28 décembre 2002 ;  
Conférence internationale en l'honneur de Laurent Schwartz, Ecole Polytechnique, 30 juin - 5 juillet 2003 ;  
Jubilé de Jean-Pierre Ramis, Toulouse, 22-26 septembre 2003 ;  
Third international conference on *Nonlinear Analysis : Hamiltonian Systems and Celestial Mechanics*, Nankai University, Tianjin (Chine), juin 2004 ;  
Workshop on the mathematical aspects of celestial mechanics, IHP déc. 2007 ;  
Colloque à la mémoire de Paulette Libermann, IHP décembre 2009 ;  
Colloque international en l'honneur de Ken Meyer pour ses 75 ans ;  
RTNS 2012 ;  
Conférence internationale *Dynamical systems and classical mechanics*, à la mémoire de V.I. Arnold, Edimburgh 3-7 octobre 2011 ;  
*Géométrie sans frontières, au contact de plusieurs disciplines*, pour les 60 ans de Daniel Bennequin, 12-17 mars 2012 ;  
Colloque international pour les 70 ans de John Mather, Lyon juin 2012 ;  
Colloque international à la mémoire d'Henri Poincaré, Gigon septembre 2012 ;  
*New trends in Dynamical Systems*, 60 ans de J. Llibre, Salou, 1-5 octobre 2012 ;  
Colloque international pour le centième anniversaire de la mort d'Henri Poincaré, IHP novembre 2012.

## 3 Thèses dirigées

### 3.1 Thèses de troisième cycle

Jorge Billeke, *Formule d'Eisenbud-Levine et schéma de Hilbert*, Nice 1978 (direction en collaboration avec J. Briançon)

Thierry Debeneix, *Chocs dans les systèmes d'équations hyperboliques*, Paris VII 1979

Eric Benoit, *Equations de Van der Pol avec forcing*, Paris VII 1979

Ángel Rodríguez Méndez, *Connexions homoclines en dimension 3*, Santiago de Compostela 1982

### 3.2 Thèses d'état

Marc Chaperon, *Germes hyperboliques d'actions de groupes commutatifs*, Univ. Paris VII, 3 octobre 1980

Daniel Bennequin, *Entrelacements et équations de Pfaff*, Univ. Paris VII, 24 novembre 1982

Eric Benoit, *Canards de  $\mathbb{R}^3$* , Nice 1984

### 3.3 Thèses “nouveau modèle”

Jérôme Los, *Phénomènes de petits diviseurs dans les dédoublements de courbes invariantes*, Univ. Paris VII, 13 juin 1986

Alain Albouy, *Variétés intégrales du problème des  $N$  corps*, Univ. Paris VII, 3 avril 1992

Philippe Levallois, *Non-intégrabilité des billards définis par certaines perturbations algébriques d’une ellipse, et du flot géodésique de certaines perturbations algébriques d’un ellipsoïde*, Univ. Paris VII, 7 décembre 1993

David Sauzin, *Résurgence paramétrique et exponentielle petitesse de l’écart des séparatrices du pendule rapidement forcé*, Univ. Paris VII, 22 février 1994

Emmanuelle Julliard-Tosel, *Non-intégrabilité algébrique et méromorphe de problèmes de  $N$  corps*, Univ. Paris VII, 25 janvier 1999

Jacques Féjoz, *Dynamique séculaire globale dans le problème plan des trois corps et application à l’existence de mouvements quasipériodiques*, U. Paris XIII, 9 septembre 1999

Andrea Venturelli, *Applications de la minimisation de l’action au problème des  $N$  corps dans le plan et dans l’espace*, Université Paris VII, 6 décembre 2002.

Martin Celli, *Sur les mouvements homographiques de  $N$  corps associés à des masses de signe quelconque, le cas particulier où la somme des masses est nulle, et une application à la recherche de chorégraphies perverses*. Université Paris 7, 26 septembre 2005.

Anne Robadey, *Différentes modalités de travail sur le général dans les recherches de Poincaré sur les systèmes dynamiques* (co-direction avec Karine Chemla) Paris 7, 3 janvier 2006

Qiaoling Wei, *Solutions de viscosité des équations de Hamilton-Jacobi et min-max itérés* (codirection avec Marc Chaperon) Paris 7, 30 mai 2013.

Lei Zhao, *Solutions quasi-périodiques et solutions de quasi-collision du problème spatial des trois corps* (codirection avec Jacques Féjoz) Paris 7, 31 mai 2013.

Jessica Massetti, *Quasi-périodicité et quasi-conservativité*, (codirection avec Jacques Féjoz) Observatoire de Paris, 23 octobre 2015.

## 4 Distinctions

Un prix de l’Académie des Sciences sur le fonds Doistau-Blutel, décembre 1986

ICM Pékin 2002 : conférence invitée de 3/4 h.

ICMP Lisbonne 2003 : conférence plénière d’1 h.

Membre des *Fellows of the AMS* depuis leur création

## 5 Description des travaux

### 5.1 Aperçu général

Mes premiers travaux en *topologie différentielle* se situaient dans la mouvance de ceux de Jean Cerf, qui venait de généraliser à des familles à un paramètre les travaux fondateurs de Steve Smale sur le théorème du h-cobordisme et la conjecture de Poincaré en grande dimension. Ils m'ont amené, au contact de René Thom, à m'intéresser à la théorie des *singularités* des fonctions différentiables et, par une pente naturelle, à celle des *systèmes dynamiques*, c'est-à-dire à l'étude qualitative et géométrique du comportement asymptotique des solutions d'équations différentielles. C'est plus précisément le rôle des systèmes conservatifs (ceux de la mécanique) comme *centre organisateur* des *bifurcations* des systèmes dissipatifs (ceux qui se présentent par exemple dans la théorie des oscillations électriques) qui m'a d'abord intéressé. De là au *problème des n corps* – parangon des systèmes conservatifs – qui m'occupe aujourd'hui, il y a la découverte émerveillée de l'origine de la dynamique qualitative dans les travaux de Poincaré et de Birkhoff lors de la préparation d'un cours de D.E.A. consacré à la thèse de Charles Conley, et la rencontre dans ce cours de Jacques Laskar avec qui j'ai fondé l'équipe A.S.D. que nous avons dirigée ensemble jusqu'à ma retraite.

Après une brève description de mes premières publications, je détaille ceux de mes travaux que je considère comme les plus importants, des plus anciens :

- les *bifurcations de points fixes elliptiques* en théorie générale des systèmes dynamiques,
- les *quasi-collisions dans le Problème restreint des trois corps*, à mi-chemin entre la théorie générale des systèmes dynamiques et la mécanique céleste,
- le rôle des *symétries dans le Problème des n corps* en mécanique céleste et l'importance de ne pas limiter à 3 la dimension de l'espace ambiant pour comprendre la structure algébrique des équations,

aux plus récents :

- les cas de *divergence générique de la normalisation de points fixes elliptiques* et l'introduction de la notion de *normalisation géométrique* qui sépare les comportements radiaux et angulaires.

### 5.2 Travaux en topologie différentielle et premiers travaux en dynamique

#### 5.2.1 Théorie de Smale à un paramètre et singularités de basse codimension.

Mes premiers travaux [1] à [8], faits en partie en collaboration avec François Laudenbach, portaient sur la géométrie de certains espaces de fonctions différentiables sur une variété; les questions abordées avaient pour but une généralisation au cas non simplement connexe du théorème de Pseudo-isotopie de Jean Cerf, lui-même généralisation aux familles à un paramètre du théorème du h-cobordisme

de Steve Smale. Ce but n'a été atteint que plus tard par A. Hatcher et J. Wagoner d'une part, Igusa d'autre part. Dans [5], nous montrions sous des hypothèses assez faibles, la connexité de l'espace des fonctions différentiables définies sur un cobordisme trivial et ne possédant de points critiques qu'en deux indices consécutifs. Peu après, l'étude [3] de la géométrie des "queues d'aronde" m'a permis de simplifier la démonstration et d'éviter de lourds calculs d'obstructions. Dans ma thèse [6], j'ai généralisé le point de vue de [3] en considérant divers problèmes de retour au "centre organisateur" : étant donné un déploiement  $F_1$  d'une fonction, dépendant de paramètres dans un  $k$ -disque  $D$ , on considère une famille  $f_2$  de fonctions, paramétrée par  $S = \partial D$ , dont le comportement des valeurs critiques imite celui de la famille  $F_1|_{\partial D}$ . Il s'agit de comprendre les obstructions à étendre la famille  $f_2$  en une famille  $F_2$  paramétrée par  $D$ , dont les valeurs critiques se comportent comme celles de la famille  $F_1$ . L'étude de ce type de problèmes me fit conjecturer l'existence d'un facteur exotique  $\mathbb{Z}$  dans le groupe  $\pi_3(Diff D^n)$ . L'existence d'un tel facteur a depuis été prouvée par Hsiang et ses collaborateurs. Dans [7], nous donnions une nouvelle définition du groupe  $Wh_2$  à partir de laquelle on obtient une démonstration beaucoup plus simple du théorème de Cerf sur les pseudo-isotopies dans le cas simplement connexe.

### 5.2.2 Singularités des fonctions différentiables.

Dans [5], un lemme clé de la théorie des singularités (perturbation par un élément de  $\mathcal{MJ}^2$ ) est utilisé dans le calcul de l'homotopie du groupe local d'isotropie d'un germe de fonction. Cet article est à l'origine de mon intérêt pour la théorie des singularités et de ma participation active au séminaire de René Thom (voir en particulier [C4],[C5],[C6],[C11]).

### 5.2.3 Jets de Morse et h-principe

Dans un récent article [46] écrit en collaboration avec François Laudenbach, nous faisons une nouvelle incursion dans le domaine de la topologie différentielle : nous caractérisons les sections de l'espace des 2-jets de fonctions de Morse qui sont homotopes à une section holonome.

### 5.2.4 Equations du type Volterra

Les deux articles [9] et [11] concernent les équations différentielles quadratiques du type "compétition d'espèces". Elles ont pour origine des discussions avec des physiciens de Nice. Le critère d'inexistence d'orbites périodiques que je donne dans [9] s'est paradoxalement révélé utile pour localiser par élimination des régions de l'espace des paramètres où se produisent des bifurcations de Hopf.

### 5.2.5 Bifurcations de tores invariants

Dans [12] et [13], écrits en collaboration avec Gérard Iooss pendant mon séjour à Nice, nous donnons des généralisations des travaux classiques de Sacker, Naimark, Ruelle-Takens. Nous montrons des théorèmes de bifurcations de tores invariants de dimension quelconque à partir d’hypothèses sur le spectre de l’application “transformée de graphes”. Ces hypothèses, bien que naturelles, sont de codimension infinie dès que l’on sort des cas classiques (bifurcations de cercles pour les difféomorphismes, de cercles pour les flots), ce qui limite a priori leur intérêt mais le phénomène peut s’observer cependant en petite codimension (voir le paragraphe suivant). Un trait intéressant de ces articles est la tentative, sans doute optimale, de se débarrasser de certaines hypothèses diophantiennes en résolvant seulement de manière approchée certaines des équations aux différences qui se présentent. Les seules conditions de ce type qui subsistent sont directement liées à l’expression de la notion d’“attractivité vague”.

## 5.3 Travaux principaux en dynamique

### 5.3.1 Bifurcations de points fixes elliptiques.

Les systèmes mécaniques les plus simples qui soient non triviaux (au sens des mathématiciens) sont ceux dont l’état peut être défini par la donnée de la position et de la vitesse d’un point dans le plan, ce qui représente 4 nombres réels (les “données initiales” : deux coordonnées de position et deux de vitesse). Une fois fixée l’énergie totale du système, ce qui enlève une dimension, l’évolution est définie par une équation différentielle en dimension 3. Pour étudier ce qui se passe au voisinage d’une solution périodique “stable” – i.e. telle que les solutions correspondant à des données initiales proches restent indéfiniment proches – il suffit de comprendre les intersections répétées de ces solutions proches avec un petit disque transverse à la solution périodique initiale (qui correspond à un point d’intersection unique). C’est la méthode des “sections de Poincaré”, qui remplace l’étude qualitative d’une équation différentielle par celle de l’itération d’une application  $P$  d’un disque dans un disque un peu plus grand, au voisinage d’un “point fixe elliptique”. Le caractère “conservatif” du problème mécanique se traduit par le fait que l’application  $P$  conserve les aires (la surface de l’image par  $P$  d’une petite région est égale à celle de la région) ou plus généralement une mesure ayant une densité lisse par rapport à la mesure de Lebesgue. A cette classe de problèmes appartiennent le *problème restreint des trois corps*, étudié de cette façon par Poincaré, mais aussi sa caricature, le *problème des géodésiques sur une sphère cabossée*. Des travaux importants, poursuivant ceux fondateurs de Poincaré et Birkhoff sur les orbites périodiques, ont été consacrés à l’étude de telles applications : les plus célèbres sont ceux de Kolmogorov, Arnold, Moser (théorie K.A.M.) et ceux d’Aubry-Mather (ensembles de Cantor invariants).

Dans une série d’articles (en particulier [22],[23],[26]; voir aussi l’exposé [http://www.numdam.org/article/SB\\_1985-1986\\_\\_28\\_\\_313\\_0.pdf](http://www.numdam.org/article/SB_1985-1986__28__313_0.pdf)

de J.C. Yoccoz au Séminaire Bourbaki qui les décrit), j'ai montré que tous les phénomènes que l'on rencontre au voisinage d'un point fixe elliptique d'un difféomorphisme du plan conservant les aires, se retrouvent "déployés" dans l'espace des paramètres, dans des familles à deux paramètres génériques (i.e. n'ayant pas de propriété particulière) de difféomorphismes (non conservatifs) de surfaces. Autrement dit, les phénomènes qui sont rassemblés dans une unique application conservative se rencontrent répartis sur une infinité de membres d'une famille d'applications dissipatives génériques voisines d'une application qui possède un point fixe elliptique (i.e. qui n'est conservative qu'au niveau de sa dérivée première). A l'ensemble de Cantor de courbes invariantes donné par la théorie KAM correspond un ensemble de Cantor de valeurs des paramètres pour lesquelles le difféomorphisme considéré possède une courbe invariante non normalement hyperbolique (i.e. telle que la dynamique radiale en son voisinage ne soit ni une contraction ni une dilatation, situation qui dans le monde dissipatif se rapproche le plus possible du cas conservatif). Les "ensembles d'Aubry-Mather", les orbites périodiques et leurs orbites homoclines se retrouvent également déployés dans l'espace des paramètres (figure 1).

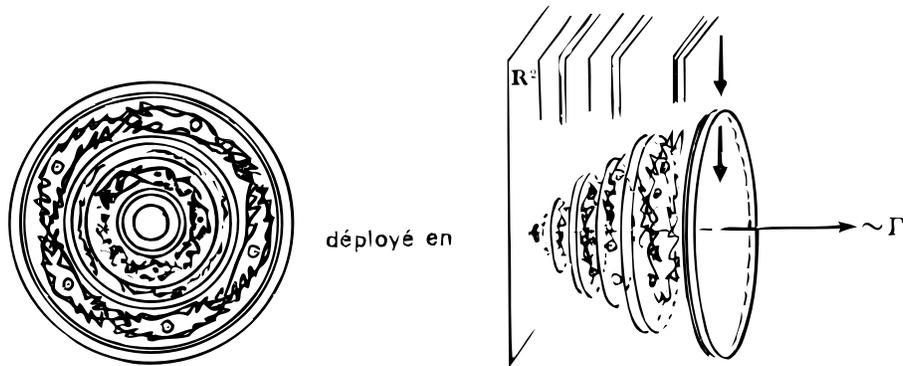


Figure 1 (d'après [22])

Une conséquence de ces travaux est la découverte de ce que le rôle tenu dans le monde des difféomorphismes conservatifs du plan par les courbes invariantes, est tenu dans celui des difféomorphismes dissipatifs par les familles à un paramètre de difféomorphismes présentant l'élimination ("saddle-node") d'un couple de courbes fermées invariantes. Comme dans le cas conservatif et peut-être de façon encore plus frappante, ce sont les *nombre de rotation* des orbites qui, lorsque l'hyperbolicité normale cesse d'être dominante, jouent un rôle prépondérant. Un résultat surprenant est par exemple le caractère contagieux des orbites "bien ordonnées" (i.e. ordonnées comme les orbites d'une rotation) dont le nombre de rotation est *diophantien* (i.e. suffisamment "loin" des nombres rationnels dans un sens précis qui vient de la théorie des nombres). Dans les familles génériques considérées, l'existence d'une telle orbite suffit à exclure tout comportement "chaotique" : le difféomorphisme "ressemble" à une "forme normale" dans tout un voisinage du point fixe contenant l'orbite et celle-ci engendre une courbe

fermée invariante. C'est une belle illustration de la façon dont une distortion angulaire peut remplacer une contraction ou une dilatation radiales. La figure 2 montre les "bulles" de l'espace des paramètres dans lesquelles sont confinés les comportements "chaotiques".

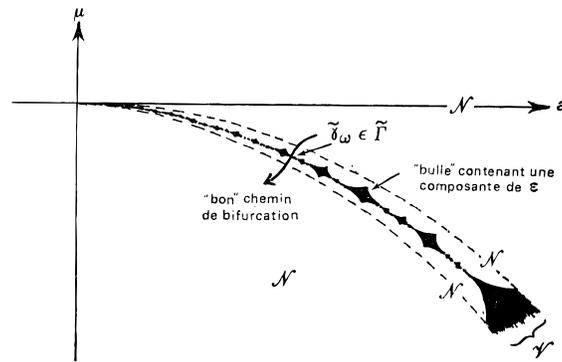


Figure 2 (d'après [22])

La figure 3 illustre l'"élimination résonante" d'un couple de courbes invariantes, c'est-à-dire les phénomènes complexes qui ont lieu dans une famille générique de difféomorphismes correspondant à un chemin qui traverse l'une des "bulles".

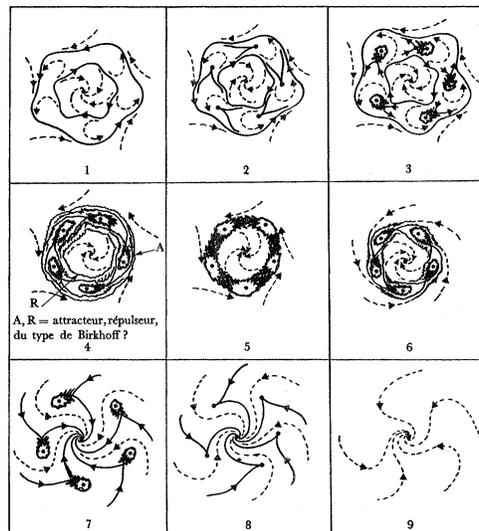


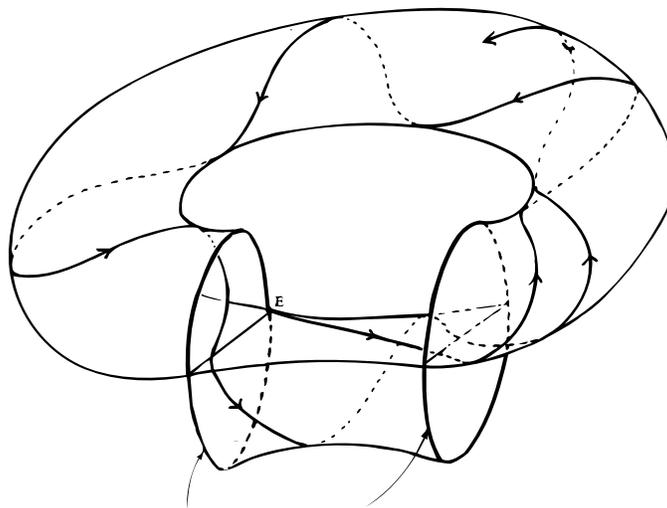
Figure 3 (d'après [26])

Ces travaux sont en particulier décrits dans un volume de l'encyclopédie russe de Systèmes dynamiques et dans le livre "Dynamical Systems" de Arrowsmith et Place. Les "bulles" de l'espace des paramètres ont été depuis retrouvées dans de nombreuses situations, à commencer par les dédoublements de courbes invariantes étudiés dans sa thèse par mon élève Jérôme Los.

C'est à cette époque que j'ai écrit pour l'*Encyclopædia Universalis* deux longs articles *Singularités des fonctions différentiables* [C11] et *Systèmes dynamiques différentiables* [C14] qui ont été bien accueillis à la fois par les mathématiciens et les physiciens.

### 5.3.2 Problème restreint des 3 corps, systèmes séculaires.

Mon intérêt pour la Mécanique céleste date du milieu des années quatre-vingt, très précisément de ma lecture, lors de la préparation d'un cours de DEA sur les Systèmes dynamiques, de la thèse de Charles Conley sur les orbites de type lunaire de très longues périodes. Le sujet du cours est devenu le Problème restreint circulaire plan des trois corps dans le cas lunaire, c'est-à-dire lorsque la constante de Jacobi est suffisamment négative pour que le corps de masse nulle (la Lune) soit confiné dans une composante compacte de la région de Hill contenant l'un des corps primaires (la Terre), le troisième corps (le soleil) n'agissant sur ce couple que comme une perturbation. Il est naturel dans cas, et c'est ce que fait Conley, de se placer dans un repère tournant et de régulariser le problème à la Levi-Civita en ajoutant à l'infini de l'hypersurface d'énergie (=constante de Jacobi) constante un cercle représentant les directions de collision Terre-Lune, ce qui compactifie cette hypersurface et lui donne la topologie du groupe des rotations  $SO(3)$ , c'est-à-dire de l'espace projectif  $P_3(R)$ . J'ai à cette occasion calculé la partie pertinente de l'application de premier retour de Poincaré dans un anneau global de section choisi de manière à contenir le cercle des collisions (voir [L4]). Dans [27], écrit avec Jaume Llibre, nous comparons à la régularisation de McGehee la composition de la régularisation de Levi-Civita et d'un éclatement du cercle des collisions, et réussissons ainsi à contrôler avec un minimum de calculs l'intersection de ce cercle avec son image sous l'application de premier retour de Poincaré. Nous en concluons l'existence, pour le problème de départ (i.e. avant régularisation) de tores troués invariants (figure 4) qui correspondent à des solutions dans lesquelles la Lune (ponctuelle !) s'approche arbitrairement près de la Terre (ponctuelle également) une infinité de fois sans jamais la toucher. Ceci m'a conduit à poser dans [C17] des questions sur les distortions monotones de l'anneau qui ne sont toujours pas résolues. L'existence de solutions présentant de telles quasi-collisions a été étendue au Problème complet des trois corps dans le plan dans la thèse de mon élève Jacques Féjoz comme conséquence de son étude du système séculaire associé et en particulier de la relation entre les opérations de moyennisation et de régularisation. Je lui avais proposé cette étude globale des systèmes séculaires à la suite de mon essai dans [C16] d'en présenter géométriquement la structure dans le cas planétaire. Des discussions avec Alain Albouy avaient également joué un rôle important.



Two circles 'at infinity' (i.e. on the collision manifold);  
their complement is homeomorphic to  $(\mathbb{T}^2 - 2 \text{ points})$

Figure 4 (“tore troué” invariant, d’après [27])

L’étude des solutions présentant des quasi-collisions vient d’être étendue au problème des trois corps dans l’espace par Zhao Lei dont Jacques Féjoz et moi avons co-dirigé la thèse.

### 5.3.3 Symétries et Problème des $n$ corps.

Les travaux appartenant à cette rubrique sont ceux qui m’occupent depuis quelques années et je les décrirai plus en détail. Ils ont en particulier été à l’origine de la découverte d’une nouvelle classe particulièrement fascinante de solutions périodiques du problème des  $n$  corps, les *chorégraphies*.

#### (i) Symétries de translation et de rotation : la “forme” de $n$ corps.

Dans l’article [28], paru en 1998 mais correspondant à une recherche sur plusieurs années avec mon ancien étudiant Alain Albouy, nous généralisons à un nombre quelconque de corps et une dimension quelconque de l’espace ambiant le fameux “Essai sur le problème des trois corps” que Lagrange écrivit en 1772. Nous introduisons un codage algébrique (par une forme quadratique) de la configuration à isométrie près d’un système de  $n$  points matériels. L’information contenue dans cette forme quadratique est la même que celle de l’ensemble des distances mutuelles entre les  $n$  points mais elle est encodée sous une forme qui se prête aux calculs. Une fois les masses introduites, elle s’interprète comme une sorte d’*inertie intrinsèque* et contient toute l’information à isométrie près de l’ellipsoïde d’inertie du corps solide constitué par les  $n$  masses supposées rigidement liées par des barres non massives.

(ii) **Configurations équilibrées et configurations centrales.** Les équations obtenues par les techniques ci-dessus pour le problème des  $n$  corps réduit (i.e. lorsqu’on ne s’intéresse à la position des corps qu’à translation et rotation

près) ont fourni la compréhension la plus générale et la plus directe possible des *mouvements homographiques*, i.e. des seules solutions de type Keplerien du problème des  $n$  corps (celles dans lesquelles la configuration reste à tout instant semblable à une configuration fixée). Elles ont également joué un rôle fondamental dans la classification qu’a faite Albouy de l’ensemble des *configurations centrales* de quatre corps de même masse. Ces configurations sont les seules à admettre des mouvements homographiques et leur détermination pour un nombre  $n$  de corps supérieur à trois est extraordinairement difficile. La remarque à la base de ces travaux est qu’une réduction “à la Lagrange” (c’est-à-dire utilisant les distances mutuelles) ne fait intervenir la dimension de l’espace ambiant qu’en dernier ressort, comme une contrainte sur les équations : dans un certain sens, le problème des trois corps a une structure plus simple dans l’espace à quatre dimensions. Nous définissons en particulier les *configurations équilibrées*, qui généralisent les configurations centrales : ce sont celles qui admettent des mouvements d’*équilibre relatif* (mouvements homographiques particuliers dans lesquels les  $n$  corps se comportent comme un corps solide) dans un espace ambiant de dimension suffisamment grande pour qu’aucune contrainte n’en résulte. Alors que les configurations centrales sont les points critiques du potentiel sur l’ensemble des configurations de  $n$  corps de moment d’inertie fixé par rapport au centre de gravité, les configurations équilibrées sont les points critiques du potentiel sur l’ensemble des configurations dont tout le spectre d’inertie est fixé, i.e. celles dont l’ellipsoïde d’inertie est fixé à rotation près.

**(iii) Symétrie d’homothétie et analyse des collisions.** Dans [29], débuté également avec Alain Albouy, je développe la “réduction” de la pseudo-symétrie d’homothétie qui provient de l’homogénéité du potentiel newtonien. Déjà notée par Elie Cartan, cette symétrie est responsable de l’existence de la *variété de collision* de Mc Gehee. Ce point de vue fournit un exposé conceptuel unifié des travaux classiques de Sundman, Mc Gehee et Saari sur les solutions de collision et les mouvements (duaux) complètement paraboliques. L’article comporte une erreur, heureusement sans conséquence : une inégalité écrite dans le mauvais sens m’avait fait affirmer, à tort, que les estimations taubériennes faites par Wintner étaient inutiles. Cette vision des choses m’a permis de simplifier l’exposé que j’ai donné au séminaire Bourbaki [C17] du résultat célèbre de Jeff Xia qui assure l’existence de solutions sans collision du problème des 5 corps dans l’espace, dans lesquelles certains corps partent à l’infini en temps fini.

**(iv) Symétries discrètes et solutions périodiques qui minimisent l’action lagrangienne.** Il s’agit de déterminer les solutions périodiques “les plus simples” du problème des  $n$  corps qui satisfassent certains types de contraintes. “Simple” est ici pris dans le sens où ces solutions minimisent l’*action lagrangienne*, c’est à dire une intégrale qui joue dans ce problème le rôle de la *longueur* d’une géodésique. Mon intérêt pour ce problème a commencé en 1998. Dans la note [30], écrite avec Nicole Desolneux, nous obtenons un résultat de base, qui curieusement n’était pas connu : dans beaucoup de cas (en particulier dans tous les problèmes dans le plan) les solutions périodiques qui, à période fixée, minimisent l’action lagrangienne parmi les lacets symétriques (i.e. telles qu’au

bout d'une demi-période la configuration soit transformée en sa symétrique par rapport au centre de gravité du système) sont toujours des mouvements d'équilibre relatif (dans lesquels la configuration se comporte comme celle d'un corps solide et chaque corps décrit uniformément un cercle autour du centre de gravité comme sur la figure 5).

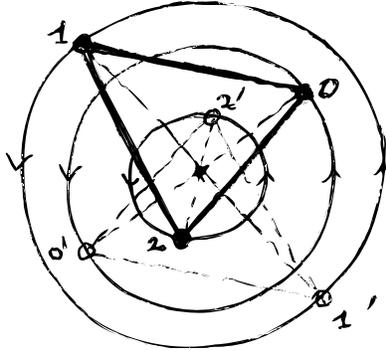


Figure 5 (équilibre relatif de Lagrange (triangle équilatéral))

(v) **Le Hip-Hop.** L'étude du premier cas non justiciable de ce théorème, soit 4 corps dans l'espace de dimension 3, a conduit à la démonstration de l'existence d'une nouvelle solution périodique très simple, découverte avec mon élève Andrea Venturelli [31] (nous avons appris par la suite que de telles solutions avaient déjà été obtenues numériquement en 1983 par I.Davies,A.Truman and D.Williams et en 1999 par G.Hoynant). Lorsque les masses sont égales, et sous une hypothèse supplémentaire de symétrie, sans doute inutile, le minimum est une solution (que nous avons baptisée "hip hop") qui hésite périodiquement entre le tétraèdre régulier (qui aurait réalisé le minimum s'il admettait un mouvement d'équilibre relatif dans  $\mathbb{R}^3$ ) et le carré (qui correspond à un mouvement d'équilibre relatif minimisant l'action parmi les mouvements dans  $\mathbb{R}^2$ ) (figure6).

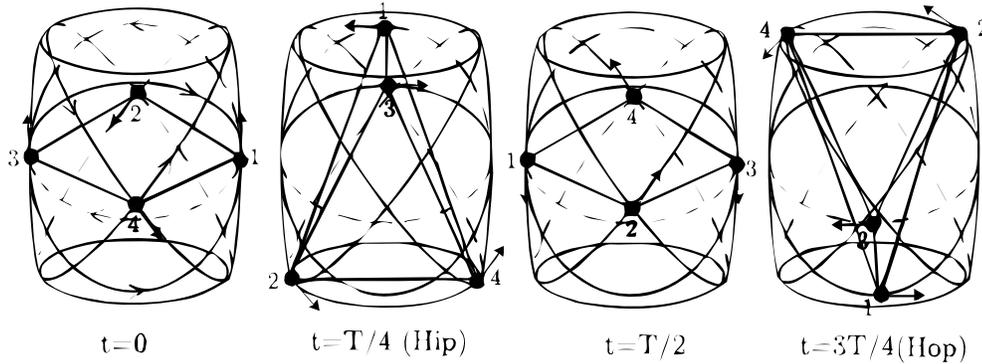


Figure 6 (d'après [33])

J’ai obtenu une généralisation de ce type de solutions au problème général des  $n$  corps (masses quelconques) (voir ci-dessous le paragraphe intitulé “Les Hip-Hops généralisés”)

**(vi) Le Huit.** Dans [32], écrit avec Richard Montgomery, nous prouvons l’existence d’une solution périodique étonnante du problème des trois corps dans le plan lorsque les masses sont égales : les trois corps se poursuivent indéfiniment sur une même courbe plane en forme de “huit”. Ceci rappelle bien entendu la solution de Lagrange dans laquelle les trois corps forment un triangle équilatéral qui tourne uniformément autour de son centre de gravité : lorsque les masses sont égales, les trois corps tournent en effet sur un même cercle. Mais, contrairement à la solution de Lagrange, le “huit” est dynamiquement stable : ce dernier fait a été prouvé numériquement par Carles Simó. Cette découverte – en fait redécouverte car une telle solution avait été trouvée numériquement par Cris Moore en 1993 mais était restée inconnue des spécialistes de Mécanique céleste – a attiré beaucoup d’attention; des articles sur le huit et ses généralisations ont paru dans revues et journaux :

*Science* (17 mars 2000), *Science News* (14 avril 2000), *Polityka* (sic! 15 juillet 2000), *Siam News* (July/August 2000), *Pour la Science* (numéro de Novembre 2000 sur Poincaré), *couverture des Notices of the AMS* (mai 2001), *Le Monde* (8 janvier 2002).

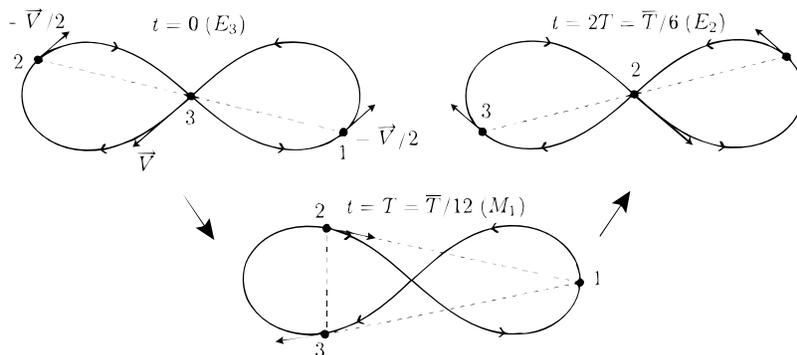


Figure 7 (d’après [32])

**(vii) Les chorégraphies.** Une activité numérique (Joseph, Gerver, Carles Simo) et théorique (Kuo Chang Chen) intense a suivi la découverte du Huit. Elle a conduit à la découverte des *chorégraphies*, solutions du problème des  $n$  corps dans lesquelles  $n$  masses égales se poursuivent sur une même courbe fermée à intervalles de temps égaux (voir [34] pour l’état de la question en 2002). Les principes de symétrie sous-jacents à ces travaux sont exposés dans [33]. Ce sont eux qui ont permis de réaliser dans une certaine mesure le programme proposé par Poincaré dans une note aux Comptes Rendus de L’Académie des Sciences le 30 novembre 1896 où, se heurtant au problème technique fondamental de l’approche variationnelle – la possibilité de collisions – il avait dû se contenter de traiter le cas des “forces fortes” (potentiel en  $1/r^\alpha$  avec  $\alpha \geq 2$ ).

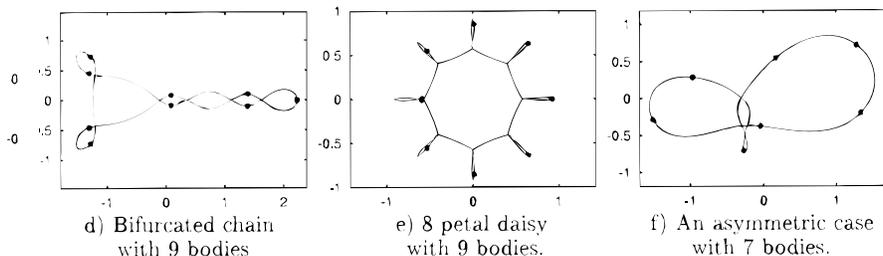


Figure 8 (d'après [34])

Pendant quelque temps, l'équilibre relatif du triangle équilatéral et le “huit” furent les seules chorégraphies dont l'existence était rigoureusement démontrée pour le potentiel newtonien. La situation a bien changé maintenant, en particulier grâce aux résultats décrits dans le paragraphe (ix). Il faut citer également les chorégraphies spatiales de 4 corps, de type Hip-Hop, dont Susanna Terracini et Andrea Venturelli ont montré l'existence et les chorégraphies planes de trois corps trouvées numériquement par Carlès Simo et étudiées sur le plan théorique par lui-même et Dominique Bang.

**(viii) Les solutions perverses.** Motivé par la question de savoir si les masses d'une chorégraphie sont nécessairement toutes égales, j'ai introduit dans [39], [40] la notion de *solution perverse* du problème des  $n$  corps. Ce sont les solutions dont la connaissance ne suffit pas à déterminer les masses des corps en jeu. Dans [], des exemples – ayant plusieurs centaines de corps – sont construits, de *solutions vraiment perverses* dans lesquelles une même solution admet deux systèmes de masses de même masse totale et de même centre de gravité. Mon étudiant Martin Celli a prouvé que dans le cas d'un potentiel logarithmique, les masses d'une chorégraphie sont nécessairement égales.

**(ix) Le “problème de Dirichlet”.** Une superbe idée de Christian Marchal a récemment permis de montrer que le problème des collisions ne se posait pas dans le problème de Dirichlet, c'est-à-dire dans la minimisation de l'action à extrémités fixées dans  $\mathbb{R}^2$  ou  $\mathbb{R}^3$ . En particulier, *étant données  $n$  masses quelconques et deux configurations de celles-ci dans le plan ou dans l'espace, il existe toujours une solution du problème des  $n$  corps qui, dans un temps  $T$  fixé, passe de la première configuration à la seconde.* La démonstration de Marchal résout le cas des collisions isolées. J'ai pu la simplifier et, utilisant des techniques de Montgomery, Terracini et Venturelli, donner dans le texte de ma conférence au congrès international de Pékin [35] une preuve complète du résultat ainsi que des applications (une présentation destinée à un public mathématicien plus large est donnée dans [C23]). Une généralisation de cette preuve à certaines situations équivariantes a été donnée par Davide Ferrario et Susanna Terracini. On peut alors démontrer l'existence de bon nombre des solutions périodiques dont la découverte du “huit” avait provoqué la recherche par des méthodes numériques. Je donne un vue synthétique de la situation dans ma conférence plénière au Congrès international de physique mathématique (ICMP03) de Lisbonne [42]. L'absence de collisions dans les solutions du problème de Dirichlet explique le succès de la minimisation sous contraintes de symétrie : le choix d'un domaine

fondamental de l'action du groupe sur le cercle temporel ramène en effet ce problème à une minimisation à extrémités fixées.

(x) **Les Hip-Hops généralisés.** Parmi les applications du résultat ci-dessus, la plus intéressante me semble être l'existence – pour  $n \geq 4$  masses quelconques – de solutions périodiques *non planes* du problème des  $n$  corps qui généralisent le Hip-Hop [37]. Ces solutions peuvent être considérées comme des ersatz spatiaux des solutions d'équilibre relatif qui, dans  $\mathbb{R}^3$ , appartiennent nécessairement à un plan fixe. C'est la première application significative de la méthode de minimisation au problème des  $N$  corps avec des masses quelconques (K.C. Chen a depuis donné d'autres applications). Elle me semble importante par sa généralité et par le fait que la raison de l'existence de ces Hip-Hop généralisés est celle-là même qui implique l'existence de configurations centrales spatiales (théorème de Pacella-Moeckel).

(xi) **Huits tournants.** Avec Jacques Féjoz et Richard Montgomery [41], nous nous sommes intéressés aux différentes façons dont le "huit" peut donner naissance par bifurcation à une famille de solutions périodiques du problème des trois corps dans un repère tournant (dans l'espace à trois dimensions). Nous montrons l'existence de trois familles qui correspondent chacune à une chorégraphie dans un repère tournant autour de l'un des axes de symétrie du "huit". Ce faisant, nous mettons en évidence, outre celles découvertes respectivement par Michel Hénon et Christian Marchal, une troisième famille. Chaque famille correspond à une brisure différente de la symétrie  $D_6 \times \mathbb{Z}_2$  que possède le "huit" dans l'espace à trois dimensions mais le sous-groupe résultant est toujours isomorphe au groupe diédral group  $D_6$ . Dans [44], nous montrons que seule la famille  $P_{12}$  de Marchal connecte le "huit" à l'équilibre relatif équilatéral de Lagrange.

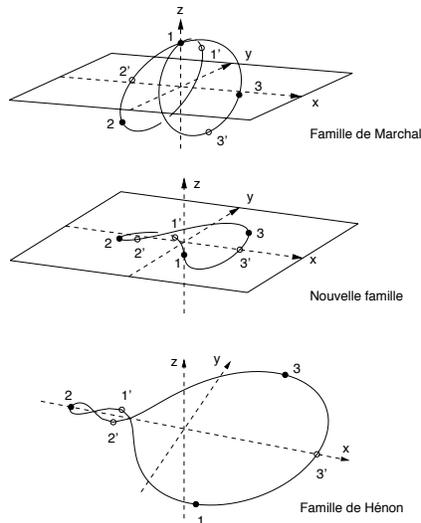


Figure 9 (d'après [41])

(xii) **Bifurcations de solutions quasi-périodiques depuis un équilibre relatif très symétrique.** Il s'agit des articles [43],[45] qui montrent en particulier que les solutions d'équilibre relatif de  $n$  masses égales dont la configuration est un polygone régulier sont à l'origine de certaines classes de choréographies et de Hip-Hops (plus précisément, elles leurs sont reliées par des familles "naturelles" de solutions quasi-périodiques). Ces deux classes de solutions, dont l'existence avait été prouvée par des méthodes variationnelles et qui semblent de nature fort différentes, se trouvent ainsi avoir une origine commune. La question générale est l'étude globale des familles de Lyapunov de solutions quasi-périodiques qui bifurquent à partir de ces équilibres relatifs quand on perturbe ces derniers dans la direction orthogonale au plan de leur mouvement. Les symétries de l'équation aux variations verticales peuvent être analysées et des solutions quasi-périodiques ayant ces symétries sont obtenues en minimisant l'action dans une famille de repères tournants. Cependant, à partir de 5 corps, des isomorphismes entre ces différentes symétries (par exemple les chaînes et les huites) limitent la possibilité d'utiliser la minimisation pour montrer l'existence de certaines de ces familles (fig. 10 : le minimum absolu dans cette classe de symétrie est le huit, alors que la chaîne n'est qu'un minimum relatif).

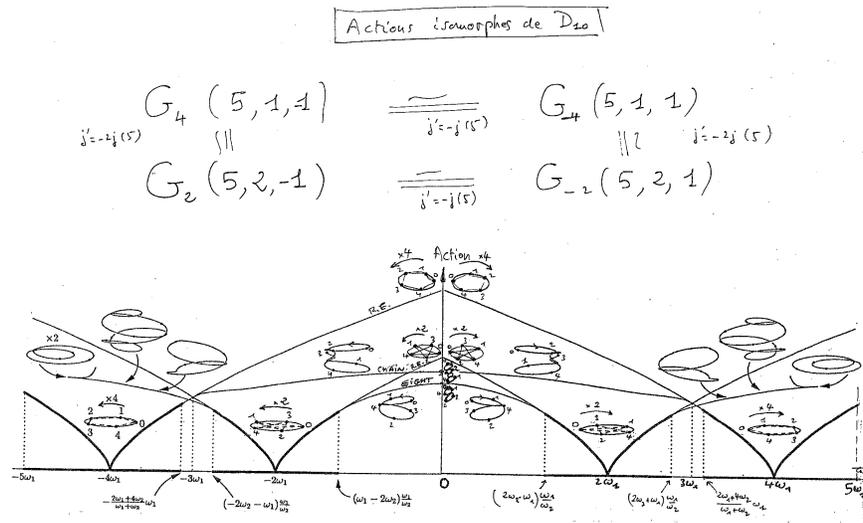


Figure 10 (d'après [45])

### 5.3.4 Problème des N corps en grande dimension

(i) **Moment cinétique en dimension supérieure à 3 et problème de Horn.** Il s'agit de recherches récentes ([47], [48]) dans lesquelles j'ai mis en évidence une relation surprenante entre d'une part la structure de l'ensemble des spectres des moments cinétiques des mouvements d'équilibre relatif d'une

configuration centrale fixée de  $N$  masses ponctuelles dans un espace  $\mathbb{R}^{2p}$  lorsque  $p \geq 2$ , d'autre part le problème de Horn qui est la description de la structure de l'ensemble des spectres des sommes de deux matrices hermitiennes (ou symétriques réelles) dont les spectres sont prescrits.

Le résultat peut s'énoncer de la manière suivante : les mouvements d'équilibre relatif d'une configuration centrale de  $N$  masses ponctuelles se passent nécessairement dans un espace  $\mathbb{R}^{2p}$  de dimension paire (voir [28] et [C36]) et sont en correspondance avec les structures hermitiennes sur cet espace. Le théorème concerne l'image de l'"application fréquence" qui, à une telle structure hermitienne, fait correspondre les fréquences ordonnées du moment cinétique (transformé en endomorphisme à l'aide de la structure euclidienne) de l'équilibre relatif correspondant. Il affirme que cette image est la même que celle obtenue en restreignant cette application à un ensemble de structures hermitiennes compatibles avec les symétries de l'ellipsoïde d'inertie de la configuration centrale en jeu.

Dans le premier article, j'avais résolu le cas  $p = 2$  par un calcul direct de points critiques et cela m'avait conduit à faire une conjecture sur le cas général. Dans le deuxième article, guidé par les expériences numériques de mon co-auteur, Hugo Jiménez-Pérez, je démontre cette conjecture en toute généralité.

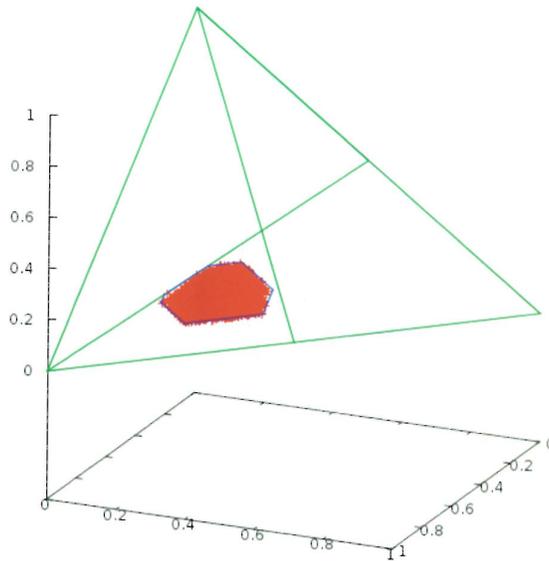


Figure 11 (d'après [48])

Une des motivations de cette étude était de comprendre la structure spectrale du moment cinétique d'un équilibre relatif dans  $\mathbb{R}^{2p}$  d'une configuration centrale (donc périodique) au moment où il bifurque vers une famille d'équilibres relatifs quasi-périodiques d'une configuration équilibrée (voir [28], [C36]). Ces spectres correspondent à un sous-squelette du polytope image de l'application moment

(voir [50] où sont étudiées en particulier les dimensions dans lesquelles peuvent exister ces équilibres relatifs).

Une conséquence indirecte de ces travaux fut de suggérer une nouvelle inégalité entre certains coefficients de Littlewood-Richardson ; cette inégalité est prouvée dans [49], écrit en collaboration avec Bernard Leclerc.

**(ii) D'une solution à une autre en passant par la quatrième dimension**

De même que l'on passe de l'équilibre relatif du triangle équilatéral au huit (deux solutions planes du problème des trois corps) à travers une famille de solutions quasi-périodiques dans  $\mathbb{R}^3$  (voir [45]), on peut passer d'un Hip-Hop à symétrie  $\mathbb{Z}/4\mathbb{Z}$  à un Hip-Hop à symétrie  $\mathbb{Z}/3\mathbb{Z}$  (deux solutions spatiales du problème des quatre corps) à travers une famille de solutions quasi-périodiques dans  $\mathbb{R}^4$  (voir [C36]).

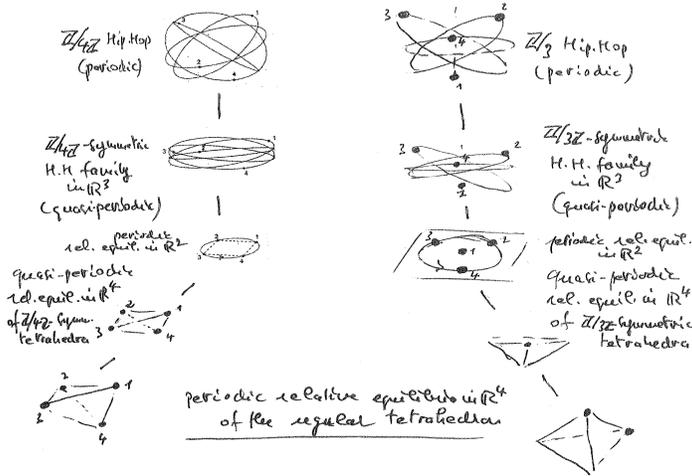


Figure 4: from a  $\mathbb{Z}/4\mathbb{Z}$ -symmetric Hip-Hop to a  $\mathbb{Z}/3\mathbb{Z}$ -symmetric one

Figure 12 (d'après [C36])

Avec Jacques Féjoz, nous avons eu pendant quelque temps le projet d'étudier dans quelle mesure ce phénomène est général, et tout d'abord de trouver suffisamment d'exemples significatifs dans lesquels le passage par une dimension supérieure fait apparaître un lien naturel entre des familles de solutions sans relation apparente. Pour le moment, le projet ne s'est pas concrétisé

**5.3.5 Normalisation de points fixes analytiques faiblement attractants**

Soit  $F : \mathbb{R}^2, 0 \rightarrow \mathbb{R}^2, 0$  un difféomorphisme local de  $\mathbb{R}^2$  fixant l'origine dont la dérivée  $dF(0)$  est conjuguée à une rotation. Si  $F$  est une contraction faible, i.e. si les termes non linéaires font que l'origine est un point fixe attractant,  $F$  n'a pas d'invariant topologique, autrement dit deux telles applications sont topologiquement conjuguées. Ceci devient faux au niveau analytique et se pose donc le

problème de la conjugaison locale de  $F$  à une *forme normale*  $N$  préservant le feuilletage des cercles de centre 0 et appliquant chaque feuille sur la feuille image par une rotation. Si  $F$  est analytique et telle que  $dF(0)$  soit une rotation non périodique, une telle conjugaison existe toujours formellement mais, contrairement à ce qui vaut pour le cas conservatif, la forme normale n'est pas uniquement déterminée et l'existence d'une normalisation analytique est un problème délicat que l'on peut scinder en

*i)* existence d'une *normalisation géométrique* dans laquelle seul le comportement radial est prescrit,

*ii)* le *i)* étant acquis, existence d'une normalisation dans laquelle le comportement angulaire est également prescrit.

L'article [52], consacré à la partie *ii)*, donne des exemples explicites de  $F$  analytiques normalisés géométriquement, construits à partir de sous-familles de la classique *famille d'Arnold* à deux paramètres  $\theta \mapsto \theta + s + t \sin 2\pi\theta$  de difféomorphismes du cercle, pour lesquels toute normalisation diverge.

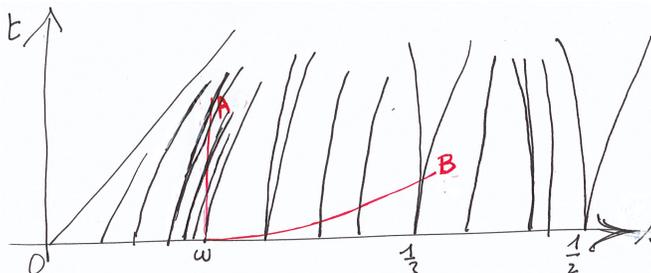


Figure 13 (d'après [52])

On montre de plus que si la dérivée au point fixe est une rotation d'angle  $2\pi\omega$  telle que  $\omega$  soit suffisamment mal approché par les rationnels (techniquement, telle que  $\omega$  ne soit pas un nombre de Brjuno), la divergence de toute normalisation est générique.

L'article [53], en préparation, est consacré à la partie *i)*; on y étudie la généricité de la divergence de toutes les normalisations géométriques de  $F$ .

## 6 Publications

- [1] A. Chenciner *Pseudo-isotopies différentiables et pseudo-isotopies linéaires par morceaux*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 270, Série A, p. 1312-1315 (1970)
- [2] A. Chenciner & F. Laudenbach *Singularités de codimension un et chemins élémentaires d'élimination*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 270, Série A, p. 1575-1578(1970)
- [3] A. Chenciner *Les chemins en queue d'aronde sont toujours triviaux*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 271, Série A, p. 1233-235 (1970)
- [4] A. Chenciner & F. Laudenbach *Contribution à une théorie de Smale à un paramètre dans le cas non-simplement connexe*, Annales de l'E.N.S., 4<sup>ème</sup> série, tome 3, fasc. 4 (1970)

[http://www.numdam.org/item/ASENS\\_1970\\_4\\_3\\_4\\_409\\_0/](http://www.numdam.org/item/ASENS_1970_4_3_4_409_0/)

- [5] A. Chenciner *Influence de la partie non-dégénérée d'un potentiel sur son groupe local d'isotropie*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 272, Série A, p. 228-230 (1971)
- [6] A. Chenciner *Sur la géométrie des strates de petites codimensions de l'espace des fonctions différentiables réelles sur une variété*, Thèse Orsay (1971)
- [7] A. Chenciner & F. Laudenbach *Le  $Wh_2$  et le théorème de la pseudo-isotopie dans le cas simplement connexe*, Publications mathématiques d'Orsay (1972)
- [8] A. Chenciner *Quelques problèmes globaux sur les fonctions de Morse*, colloque de Dijon, Springer LN (1974)
- [9] A. Chenciner *Comportement asymptotique de systèmes différentiels du type "compétition d'espèces"*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 284, Série A, p. 313-315 (1977)
- [10] A. Chenciner & G. Iooss *Bifurcation d'un tore  $T^2$  en un tore  $T^3$* , C.R. Acad. Sci. Paris, t. 284, Série A, p. 1207-1210 (1977)
- [11] A. Chenciner, P. Couillet, J. Coste & J. Peyraud *About the theory of competing species*, Theoretical population biology, vol. 14, n<sup>o</sup>2 (1978) [ 12] A. Chenciner & G. Iooss *Bifurcation de tores invariants*, Archives for rational mechanics and analysis, vol. 69 n<sup>o</sup>2, p. 109-198 (1979)
- [13] A. Chenciner & G. Iooss *Persistence et bifurcation de tores invariants*, Archives for rational mechanics and analysis, vol. 71 n<sup>o</sup>4, p. 301-306 (1979)
- [14] A. Chenciner *Courbes invariantes non-normalement hyperboliques au voisinage d'une bifurcation de Hopf dégénérée de difféomorphismes de  $\mathbb{R}^2$* , C.R. Acad. Sci. Paris, t. 292, Série A, p. 507-510 (1981)
- [15] A. Chenciner *Sur un énoncé dissipatif du théorème de Poincaré-Birkhoff*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 294, Série A, p. 243-245 (1982)
- [16] A. Chenciner *Points homoclines au voisinage d'une bifurcation de Hopf dégénérée de difféomorphismes de  $\mathbb{R}^2$* , C.R. Acad. Sci. Paris, t. 294, Série A, p. 269-272 (1982)
- [17] A. Chenciner *Points périodiques de longues périodes au voisinage d'une bifurcation de Hopf dégénérée de difféomorphismes de  $\mathbb{R}^2$* , C.R. Acad. Sci. Paris, t. 294, Série A, p. 661-663 (1982)
- [18] A. Chenciner *Orbites périodiques et ensembles de Cantor invariants d'Aubry-Mather au voisinage d'une bifurcation de Hopf dégénérée de difféomorphismes de  $\mathbb{R}^2$* , C.R. Acad. Sci. Paris, t. 297, Série A, p. 465-467 (1983)
- [19] A. Chenciner *Hamiltonian-like phenomena in saddle-node bifurcations of invariant curves for plane diffeomorphisms*, Proceedings of the conference on singularities and dynamical systems, Iraklion (1983)
- [20] A. Chenciner, J.M. Gambaudo & C. Tresser *Une remarque sur la structure des endomorphismes de degré un du cercle*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 299, Série I, p. 145-148 (1984)

- [21] A. Chenciner, J.M. Gambaudo & C. Tresser *Une remarque sur les familles d'endomorphismes de degré un du cercle*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 299, Série I, p. 771-773 (1984)
- [22] A. Chenciner *Bifurcations de points fixes elliptiques : I - Courbes invariantes*, Publications de l'I.H.E.S. n<sup>o</sup>61, p. 67-127 (1985) [http://numdam.mathdoc.fr/numdam-bin/fitem?id=PMIHES\\_1985\\_\\_61\\_\\_67\\_0](http://numdam.mathdoc.fr/numdam-bin/fitem?id=PMIHES_1985__61__67_0)
- [23] A. Chenciner *Bifurcations de points fixes elliptiques : II - Orbites périodiques et ensembles de Cantor invariants*, Inventiones Mathematicæ 80, p. 81-106 (1985)
- [24] A. Chenciner *Resonant elimination of a couple of invariant closed curves in the neighborhood of a degenerate Hopf bifurcation of diffeomorphisms of  $\mathbb{R}^2$* , Proceedings IIASA conference, Sopron (1985)
- [25] A. Chenciner, A. Gasull & J. Llibre *Une description complète du portrait de phase d'un modèle d'élimination résonnante*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 305, Série I p. 623-626 (1987)
- [26] A. Chenciner *Bifurcations de points fixes elliptiques : III - Orbites périodiques de "petites" périodes et élimination résonnante des couples de courbes invariantes*, Publications de l'I.H.E.S. n<sup>o</sup>66, p. 5-91 (1988) [http://www.numdam.org/item/PMIHES\\_1987\\_\\_66\\_\\_5\\_0/](http://www.numdam.org/item/PMIHES_1987__66__5_0/)
- [27] A. Chenciner & J. Llibre *A note on the existence of invariant punctured tori in the planar restricted three-body problem*, Ergodic theory and Dynamical Systems 8\* (Charles Conley memorial issue), p. 63-72 (1988)
- [28] A. Albouy & A. Chenciner *Le problème des  $n$  corps et les distances mutuelles*, Inventiones Mathematicæ, 131, pp. 151-184 (1998)
- [29] A. Chenciner *Collisions totales, Mouvements complètement paraboliques et réduction des homothéties dans le problème des  $n$  corps*, Regular and chaotic dynamics, V.3, 3, pp.93-106 (1998)
- [30] A. Chenciner & N. Desolneux *Minima de l'intégrale d'action et équilibres relatifs de  $n$  corps*, C.R.A.S. t. 326, Série I, p. 1209-1212, 1998, Correction in C.R.A.S. t. 327, Série I, p. 193 (1998)
- [31] A. Chenciner & A. Venturelli *Minima de l'intégrale d'action du Problème newtonien de 4 corps de masses égales dans  $\mathbb{R}^3$  : orbites "hip-hop"*, Celestial Mechanics 77, p. 139-152 (2000)
- [32] A. Chenciner & R. Montgomery *A remarkable periodic solution of the three-body problem in the case of equal masses*, Annals of Mathematics 152, p. 881-901 (2000)
- [33] A. Chenciner *Action minimizing periodic orbits in the Newtonian  $n$ -body problem*, in "Celestial Mechanics, Dedicated to Don Saari for his 60th Birthday", A. Chenciner, R. Cushman, C. Robinson, Z.J. Xia editors, Contemporary Mathematics 292, AMS, p. 71-90, (2002)
- [34] A. Chenciner, J. Gerver, R. Montgomery & C. Simó *Simple Choreographic Motions of  $N$  bodies: A Preliminary Study*, in *Geometry, Mechanics, and Dynamics*, volume dédié à J. Marsden, p. 287-308, Springer (2002)

- [35] A. Chenciner *Action minimizing solutions of the  $n$ -body problem: from homology to symmetry*, Proceedings du Congrès international des mathématiciens (ICM), Pékin, août 2002, vol. III, p. 279-294
- [36] A. Chenciner *Comment on “A simpler proof of regular polygon solutions of the  $N$  body problem” by Zhifu Xie and Shiqing Zhang*, Physics Letters A 300, p. 156-158 (2002)
- [37] A. Chenciner *Simple non-planar periodic solutions of the  $n$ -body problem*, proceedings du colloque NDDS de Kyoto (août 2002).
- [38] A. Chenciner *Some facts and more questions about the “Eight”*, Proceedings de la conférence “Nonlinear Functional Analysis”, Taiyuan (Shanxi) août 2002, p. 77-88 du livre “Topological methods, Variational methods and their application”, H. Brezis, K.C. Chang, S.J. Li, P. Rabinowitz éditeurs, World Scientific (2003).
- [39] A. Chenciner *Perverse solutions of the planar  $n$ -body problem*, pages 249-256 du livre “Geometric Methods in Dynamics (I), Volume in Honor of Jacob Palis”, W. de Melo, M. Viana, J.C. Yoccoz éditeurs, Astérisque 287, S.M.F. (2003)
- [40] A. Chenciner *Are there perverse choreographies ?*, pages 63-76 du livre “New advances in Celestial Mechanics and Hamiltonian Systems” (HAMSYS 2001), J. Delgado, E.A. Lacomba, J. Llibre & E. Pérez-Chavela éditeurs, Kluwer (2004)
- [41] A. Chenciner, J. Féjoz & R. Montgomery *Rotating Eights I : the three  $\Gamma_i$  families*, Nonlinearity 18, 1407-1424 (2005)
- [42] A. Chenciner *Symmetries and “simple” solutions of the  $n$ -body problem*, Proceedings ICMP03 (Lisbonne 2003), p. 4–20 World Scientific (2005).
- [43] A. Chenciner & J. Féjoz *L’équation aux variations verticales d’un équilibre relatif comme source de nouvelles solutions périodiques du problème des  $N$  corps*, C.R. Acad. Sci. Paris Sér. I 340, 593-598 (2005)
- [44] A. Chenciner & J. Féjoz *The flow of the equal-mass spatial 3-body problem in the neighborhood of the equilateral relative equilibrium*, Discrete and Continuous Dynamical Systems, Series B, Vol.10, Number 2&3, 421-438 (2008)
- [45] A. Chenciner & J. Féjoz *Unchained polygons and the  $N$ -body problem*, Regular and chaotic dynamics Vol. 14,  $N^01$ , 64-115 (2009) (numéro dédié à la mémoire de J. Moser. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00292885/fr/>)
- [46] A. Chenciner & F. Laudenbach *Morse 2-jet space and  $h$ -principle*, Bull. Braz. Math. Soc., New Series 40(4), 455-463 (2009)  
<http://arxiv.org/abs/0902.3692>
- [47] A. Chenciner *The angular momentum of a relative equilibrium*, Discrete and Continuous Dynamical Systems (dedicated to the memory of Ernesto Lacomba) (2012), Volume 33, Number 3, March 2013, 1033-1047  
<http://arxiv.org/abs/1102.0025>

- [48] A. Chenciner & H. Jiménez-Pérez *Angular momentum and Horn's problem*, Moscow Mathematical Journal, Volume 13, Number 4, October-December 2013, 621-630 <http://arxiv.org/abs/1110.5030>
- [49] A. Chenciner & B. Leclerc *Between two moments* (dedicated to the memory of Jean-Marie Souriau), Regular and Chaotic Dynamics, 2014, Vol. 19, No. 3, pp. 289-295 <http://arxiv.org/abs/1401.0664>
- [50] A. Chenciner *Non-avoided crossings for  $n$ -body balanced configurations in  $\mathbb{R}^3$  near a central configuration*, Arnold Math J. (2016) 2:213-248 <http://arxiv.org/abs/1411.6935>
- [51] A. Chenciner *Are non symmetric balanced configurations of four equal masses virtual or real ?* Regular and Chaotic Dynamics, 2017, Vol. 22, No. 6, pp. 677-687
- [52] A. Chenciner, D. Sauzin S. Sun & Q. Wei *Elliptic fixed points with an invariant foliation: Some facts and more questions*, Regular and Chaotic Dynamics, Vol. 27 N<sup>o</sup>1, pp. 43-64, 2022
- [53] A. Chenciner *Vous avez dit qualitatif ?*, in Mathematics Going Forward, Lecture Notes in Mathematics Springer LNM 2313, 2023
- [54] A. Chenciner *Le vrai, le faux, l'insignifiant*, in Morphology, Neurogeometry, Semiotics, A Festschrift in honor of Jean Petitot's 80th Birthday, Alessandro Sarti editor, Springer Lecture Notes in Morphogenesis, 2024
- [55] D. Bang, A. Chenciner & Carles Simó *Really perverse periodic solutions of the planar  $N$ -body problem*, to appear in Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy <http://arxiv.org/abs/2503.08374>
- [56] A. Chenciner, D. Sauzin & Q. Wei *Geometric normalization*, <https://arxiv.org/abs/2506.11580>

#### Articles en preparation

R. Calleja, A. Chenciner, J. Féjoz & Olivier Hénot, *Title not yet determined*, A paper about a bifurcation from the  $P_{12}$  family of periodic orbits of the equal mass three-body problem.

## 7 Exposés de séminaires, cours, conférences, articles d'encyclopédies, etc...

- [C1] *Le fibré tangent*, cours de Larry Siebenmann à Orsay en 1967, rédigé par Alain Chenciner, Michael Herman et François Laudenbach, Orsay (1969)
- [C2] *Sphères exotiques (d'après Kervaire et Milnor)*, I.H.E.S. 1972
- [C3] *Travaux de Thom et Mather sur la stabilité topologique*, Séminaire Bourbaki 424 (1973) [http://www.numdam.org/item/SB\\_1972-1973\\_\\_15\\_\\_116\\_0/](http://www.numdam.org/item/SB_1972-1973__15__116_0/)
- [C4] *Ombilics*, Séminaire Thom, incorporé dans le livre de Thom *Méthodes mathématiques de la morphogénèse* ("clocks diagrams" de l'ombilic parabolique)
- [C5] *Singularités des fonctions différentiables*, notes de Hoang Huu Duong, Hanoi (1974)



- [C15] *Intégration du Problème des deux corps par la méthode de Hamilton-Jacobi : les coordonnées action-angle de Delaunay*, note technique SO26 de 18 pages du Bureau des Longitudes (1989)
- [C16] *Séries de Lindstedt*, note technique SO28 de 72 pages du Bureau des Longitudes (1990)
- [C17] *L'abondance des quasi-collisions dans le problème restreint et une question sur les distorsions monotones de l'anneau*, C.R. de la RCP "Rencontres entre Mathématiciens et Physiciens" dédiée à René Thom, Strasbourg (1990) [http://www.numdam.org/volume/RCP25\\_1990\\_\\_41\\_/](http://www.numdam.org/volume/RCP25_1990__41_/)
- [C18] *Séries divergentes de la mécanique céleste (problèmes planétaires)*, Journées X-UPS, Ecole Polytechnique (1991)
- [C19] *A l'infini en temps fini*, Séminaire Bourbaki 832 Astérisque 245, p. 323-353 (1997) [http://www.numdam.org/item/SB\\_1996-1997\\_\\_39\\_\\_323\\_0/](http://www.numdam.org/item/SB_1996-1997__39__323_0/)
- [C20] *Connaissez-vous le pendule ?* Gazette des mathématiciens, p. 21-27 (octobre 2000).  
Repris dans <https://smf.emath.fr/publications/la-gazette-des-150-ans>
- [C21] *Michel Herman, la mécanique céleste et quelques souvenirs*, Gazette des mathématiciens, p.84-90 (avril 2001)
- [C22] *De la mécanique céleste à la théorie des systèmes dynamiques, aller et retour : Poincaré et la géométrisation de l'espace des phases*, Actes de la conférence "Epistémologie des systèmes dynamiques", Paris Décembre 1999, à paraître aux éditions Hermann.
- [C23] *Solutions du problème des n corps joignant deux configurations : l'idée de Christian Marchal et ce qui s'en suit*, Gazette des Mathématiciens n<sup>0</sup>99, p. 5-12 (janvier 2004). [http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/2004/99/smf\\_gazette\\_99\\_5-12.pdf](http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/2004/99/smf_gazette_99_5-12.pdf)
- [C24] *Compte-Rendu de lecture du premier volume des œuvres complètes de Jean Le Rond D'Alembert (premiers textes de mécanique céleste 1747-1749)*, Gazette des Mathématiciens n<sup>0</sup>99, p. 107-114 (janvier 2004).
- [C25] *La forme de n corps*, article pour les Actes du colloque "Autour de Gilles Chatelet" (Paris, Juin 2001), à paraître dans le livre "Mélanges pour Gilles Chatelet" aux éditions Rue d'Ulm.
- [C26] *Calculus of variations in the convex case : an introduction to Fathi's weak KAM theorem and Mather's theory of minimal invariant measures*, Barcelone en juillet 2004.
- [C27] *Une note de Poincaré* (Proceedings Curs Poincaré Barcelona 2005)
- [C28] *De l'espace des triangles au problème des trois corps*, Gazette des Mathématiciens n<sup>0</sup>104, p. 22 - 38 (avril 2005).
- [C29] *5 cours de géométrie différentielle* (école Maths et Cerveau, IHP 2005)
- [C30] *Le problème des N corps et le système solaire, numéro spécial de Sciences et Avenir " la dixième planète", 145 (2005)*

- [C31] *Les polygones déchainés et le problème des  $n$  corps*, Images des mathématiques 2006 (CNRS)  
<http://images.math.cnrs.fr/Les-polygones-dechaines-et-le.html>
- [C32] *Conservative dynamics and the calculus of variations* (summer school ELAM, Montevideo 2005)  
<https://perso.imcce.fr/alain-chenciner/Montevideo.pdf> -
- [C33] *Three Body Problem*, Scholarpedia (2007) 2[10]:2111 [http://www.scholarpedia.org/article/Three\\_body\\_problem](http://www.scholarpedia.org/article/Three_body_problem)
- [C34] *The “form” of a triangle*, Rendiconti di Matematica, Série VII, vol. 27, 1-16 (2007), Version anglaise de [C25] augmentée d’un appendice. <http://www1.mat.uniroma1.it/ricerca/rendiconti/2007%281%29/1-16.pdf>
- [C35] *Four lectures on the  $N$  body problem*, in Hamiltonian Dynamical Systems and Applications, Edited by Walter Craig, Springer 2008
- [C36] *The Lagrange reduction of the  $N$ -body problem: a survey*, Acta Mathematica Vietnamica (2013) 38: 165-186, preprint: <http://arxiv.org/abs/1111.1334>
- [C37] *Une promenade dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Gazette des Mathématiciens  $n^0$ 134, (octobre 2012) 37-47 & Quadratures [http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/2012/134/smf\\_gazette\\_134\\_37-47.pdf](http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/2012/134/smf_gazette_134_37-47.pdf)
- [C38] *Eloge de Poincaré*, prononcé le 9 juillet 2012 au cimetière du Montparnasse à l’occasion de la “journée”, Poincaré à l’Observatoire de Paris. Gazette des Mathématiciens  $n^0$ 134, (octobre 2012) 116-121 [http://smf4.emath.fr/en/Publications/Gazette/2012/134/smf\\_gazette\\_134\\_116-121.pdf](http://smf4.emath.fr/en/Publications/Gazette/2012/134/smf_gazette_134_116-121.pdf)
- [C39] *Poincaré and the Three-Body Problem*, Séminaire Poincaré (Bourbaphy) XVI (2012) : Poincaré 1912–2012, pages 45-133  
<http://www.bourbaphy.fr/novembre2012.html>

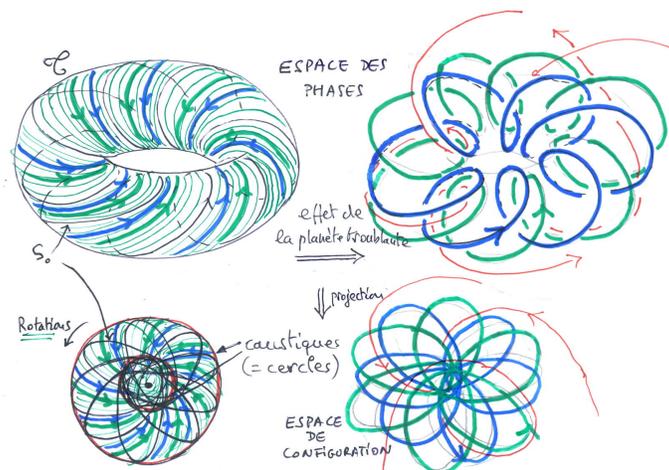


Figure 15 (Brisure d’un tore résonant, d’après [C39])

[C40] *La force d'une idée simple : hommage à Claude SHANNON à l'occasion du centenaire de sa naissance*, Gazette des Mathématiciens n<sup>o</sup>152, (avril 2017) 16-22 [http://smf4.emath.fr/en/Publications/Gazette/2017/152/smf\\_gazette\\_152\\_16-22.pdf](http://smf4.emath.fr/en/Publications/Gazette/2017/152/smf_gazette_152_16-22.pdf)

[C41] *Ombres et traces*, chapitre du livre *René Thom : portrait mathématique et philosophique*, pp. 341-362, éditions du CNRS (2018)

[C42] *Perturbing a planar rotation: normal hyperbolicity and angular twist*, pp. 451-468 du livre *Geometry in History* (ed. S. G. Dani and A. Papadopoulos), Springer Verlaag (2019)

[C43] *Vous avez dit qualitatif ?*, in: Morel, JM., Teissier, B. (eds) *Mathematics Going Forward* . Lecture Notes in Mathematics, vol 2313. Springer, pp. 61-80 (2023)

On trouve sur ma page <https://perso.imcce.fr/alain-chenciner/> les polycopiés de certains cours et divers textes non publiés de type plus philosophique ou historique écrits à l'occasion de séminaires, tels :

[VFI] *Le vrai, le faux, l'insignifiant* (2015),

## 8 Livres

[L1] *Courbes algébriques planes*, Editions de Paris VII (1979), republié par Springer (2007)

[L2] *Lexique illustré* représentant les pages 138 à 171 du livre de René Thom *Prédire n'est pas expliquer*, éditions Eshel (1991)

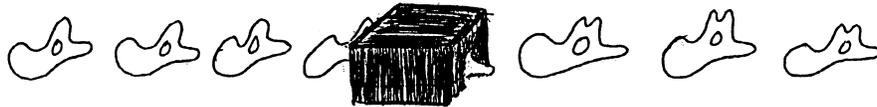


Figure 16 d'après [L2])

[L3] 三体问题 (*Le problème des trois corps*) : livre en chinois constitué des transparents d'une conférence sur le problème des trois corps donn 20 septembre 2018 à Pékin à 首都师范大学 (Université Capital Normal), des notes préparatoires pour cette conférence et de quelques dessins. <https://mp.weixin.qq.com/s/dtYobWkMt8xvUvwwMMUU2g>

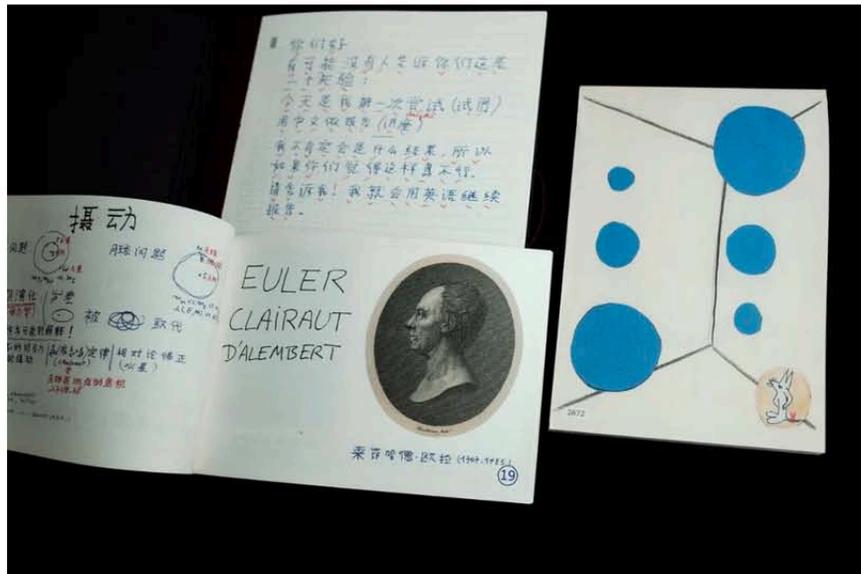


Figure 17 d'après [L3])

... futurs livres ?

[L4] *Extrémales et géométrie*, livre de 350 pages en cours d'achèvement.

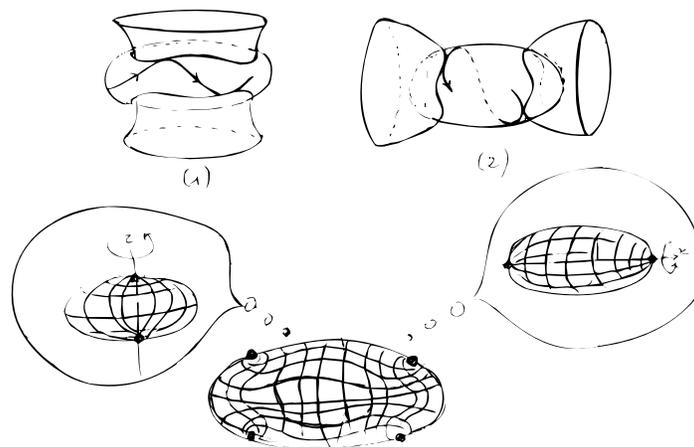


Figure 18 (les géodésiques d'un ellipsoïde hésitent entre deux formes de révolution, d'après [L4])

[L5] *Le problème de la Lune et la théorie des systèmes dynamiques*, Paris VII (1985 et 1987). Devrait peut-être un jour devenir une partie d'un livre sur le problème des  $n$  corps.

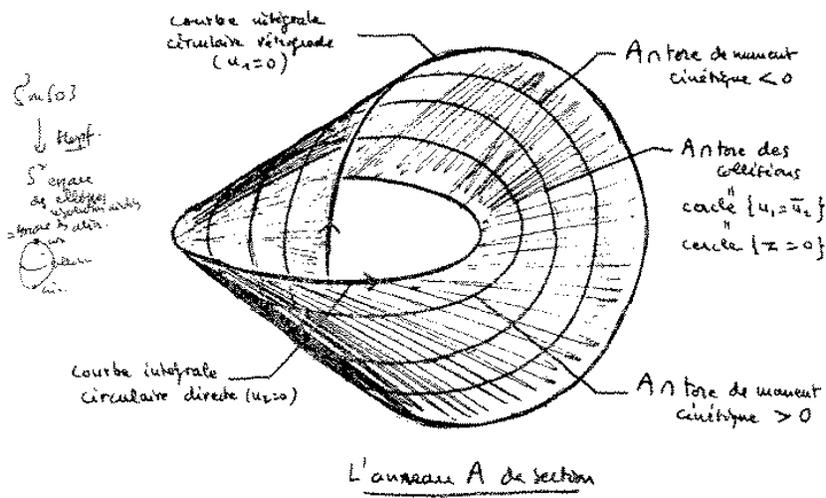


Figure 19 (d'après [L5])

[L6] *Géométrie*, polycopié manuscrit d'une centaine de pages distribué aux étudiants de Maîtrise. Pourrait devenir un livre.

[L7] *Théorie de l'information* Polycopié de 54 pages.

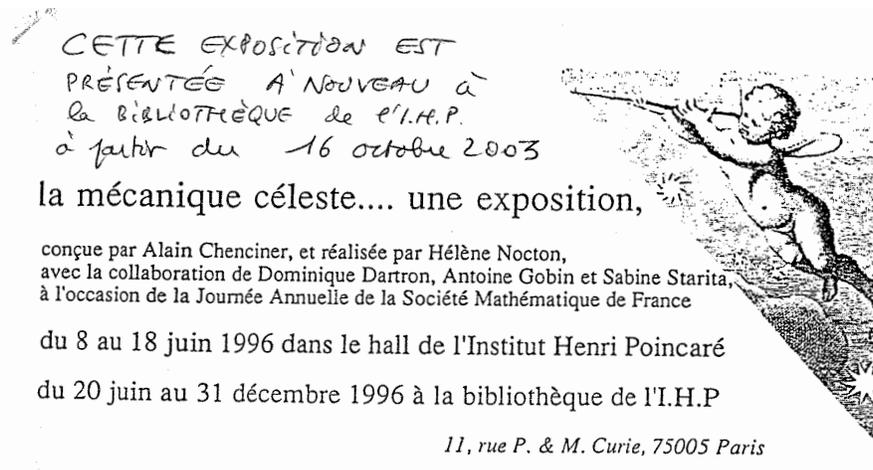
$$A = \left\{ \begin{array}{c} \bullet \\ p > q \end{array} \right\}$$

$$A^m = \left\{ \begin{array}{c} \text{cloud of points} \\ \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \end{array} \right\}$$

Figure 20 (Le 1<sup>er</sup> théorème de Shannon d'après [L7])

### ... et une exposition

[E] *La mécanique céleste... une exposition* : douze panneaux dont quatre sur l'évolution globale du problème des  $n$  corps et huit sur la stabilité du système solaire. Du 8 au 18 juin 1996 dans le hall de l'Institut Henri Poincaré (I.H.P.) puis du 20 juin au 31 décembre 1996 à la bibliothèque de l'I.H.P., à l'occasion de la journée annuelle de la SMF consacrée à la mécanique céleste, dont j'avais été l'organisateur. Cette exposition a été réalisée matériellement par Hélène Nocton avec la collaboration de Dominique Dartron, Antoine Gobin et Sabine Starita. Une brochure décrivant les panneaux est disponible sur ma page : <https://perso.imcce.fr/alain-chenciner/preprint.html>



L'exposition comprend douze panneaux. Les huit premiers, de format 70cm  $\times$  145cm et numérotés de 1 à 8, sont consacrés à l'évolution globale du Problème des  $n$  corps; les quatre autres, de format 90cm  $\times$  110cm et numérotés de I à IV, sont plus spécifiquement dédiés à la stabilité du Système Solaire. Le texte ci-dessous fournit les références de l'essentiel du contenu des panneaux, ainsi que les textes d'accompagnement. Cette exposition a été réalisée à l'occasion de l'Assemblée annuelle de la Société Mathématique de France du 8 juin 1996, dont le thème était la Mécanique Céleste. Les huit premiers panneaux concernent la conférence d'Alain Chenciner (publication de la S.M.F.), les quatre autres celle de Michel Herman.

**Panneau I. De l'attraction des globes homogènes ... aux équations de Lagrange.**

*Portraits de Newton et Lagrange*

Isaac Newton *Philosophiæ naturalis Principia Mathematica* Liber tertius Propositio VIII Theorema VIII : "Si la matière de deux globes qui gravitent l'un vers l'autre est homogène à égales distances de leurs centres : le poids de l'un de ces globes vers l'autre sera réciproquement comme le carré de la distance qui est entre leurs centres" (traduction de la Marquise du Chastellet).

Figure 21 d'après [E]

## 9 Conférences, séminaires, etc

### 9.1 Conférences invitées aux colloques et congrès internationaux depuis 1999

#### 1999

Colloque de Systèmes Dynamiques, Oberwolfach 18-24 juillet 1999 (*Action minimizing solutions of the 4-body problem in  $R^3$* )

International workshop on separatrix splitting, IHES 7-14 Septembre 1999 (*Minima de la fonctionnelle d'action pour le problème des 4 corps dans  $R^3$* )

Colloque international en l'honneur de D. Saari, Chicago, 15-19 décembre 1999 (*Action minimizing periodic orbits in the Newtonian  $n$ -body problem*)

#### 2000

Colloque international de systèmes dynamiques en l'honneur de J. Palis, IMPA Rio de Janeiro, 19-28 juillet 2000 (*A new class of periodic solutions of the  $n$  body problem in the case of equal masses*)

Colloque international "Regular and unstable motions in Hamiltonian systems", Roma, 5-8 septembre 2000 (*Action minimizing periodic solutions in the Newtonian  $n$ -body problem: symmetry versus topology*)

#### 2001

Colloque international sur les systèmes hamiltoniens et la mécanique céleste (HAMSYS), Guanajuato, 19-23 mars 2001 (*Are the masses of a choreography necessarily equal ?*)

Colloque international en l'honneur de Michael Herman, IMPA Rio de Janeiro, 9-13 avril 2001 (*Are the masses of a choreography necessarily equal ?*)

Colloque international en l'honneur de Michael Herman et Jurgen Moser, ICMS Edinburgh, 25 mai 2001 (*Action minimizing periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

Global Analysis of Dynamical Systems, international workshop in honour of Floris Takens, Lorenz center, Leiden 24-29 juin 2001 (*Action minimizing periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

Colloque autour de Gilles Chatelet, Ecole Normale Supérieure, Paris, 27-29 juin 2001 (*La forme de  $n$  corps*)

Colloque international de Systèmes dynamiques, Oberwolfach, 16-21 juillet 2001 (*Action minimizing periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

Colloque international de Systèmes dynamiques, ICTP Trieste, 30 juillet-3 août 2001 (*Action minimizing periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

#### 2002

Cours et Conférence au semestre sur les Systèmes Dynamiques, Pise, 5-8 février et 22-26 avril 2002 (*The role of symmetries in the  $n$ -body problem*)

Warwick symposium on Classical  $N$ -body Problems, 15-19 avril 2002 (*From Lagrange to the Eight: Marchal's P12 family*)

Conférence invitée de 45 minutes au Congrès international des mathématiciens (ICM), Beijing, 20-28 août 2002 (*Action minimizing solutions of the Newtonian  $n$ -body problem: from homology to symmetry*)

Congrès satellite de l'ICM : "New Directions in Dynamical Systems", Kyoto, 5-15 août 2002 (*Simple non-planar periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

Congrès satellite de l'ICM : "Nonlinear Functional Analysis", Taiyuan (Shanxi), 14-18 août 2002 (*Some facts and more questions on the "Eight"*)

Mather's fest, Penn State University 14-15 octobre 2002 & Princeton University 17-20 octobre 2002, conférence à Penn State : (*Continuing the "Eight" in 3-space: Marchal's  $P_{12}$  family*)

Conférence invitée à Princeton University, 21 octobre 2002 (*Solutions of the  $n$ -body problem with prescribed initial and final configurations: existence and applications*)

Congrès international à la mémoire de V.M. Alekseyev "Modern Theory of Dynamical Systems and Celestial Mechanics", Moscou, 23-28 décembre 2002 (*Non-planar solutions of the  $n$ -body problem: from isosceles to generalized hip-hops*)

### **2003**

Conférence AIM, Palo Alto juin 2003 (*Rotating Eights*)

Colloque de Systèmes dynamiques, Oberwolfach juillet 2003 (*The fixed ends problem and symmetric periodic solutions of the  $n$ -body problem*)

Conférence plénière au Congrès international de physique mathématique, Lisbonne, 27 juillet-2 août 2003 (*Symmetries and "simple" solutions of the  $n$ -body problem*)

### **2004**

Colloque international de Mécanique Céleste, B.I.R.S. Banff (Canada) avril 2004 "Third international conference on Nonlinear Analysis : Hamiltonian Systems and Celestial Mechanics", Nankai University, Tianjin (Chine), juin 2004] (*annulé pour cause d'enseignement*)

Université polytechnique de Catalunya (clôture d'un cycle de conférences sur Poincaré), Barcelone 30 juin 2004 (*Une note de Poincaré*)

Colloque international en l'honneur d'Ivar Ekeland, Paris 6-8 juillet 2004 (*The  $n$ -body problem and the principle of (really) least action*)

Conférence de clôture du Colloque Henri-Poincaré, IHP 16-18 décembre 2004 (*Une note de Poincaré*)

### **2005**

Colloque international "De la Topologie à la Géométrie symplectique" Nantes, 8-10 juin 2005 (*Unchained polygons and the  $n$ -body problem*)

Colloque international de systèmes dynamiques, Oberwolfach 10-16 juillet 2005 "Taiwan-France Joint Conference on Nonlinear Partial Differential Equations and Related Topics", Taïpeh 18-22 juillet 2005 (*Unchained polygons in the equal-mass  $N$ -body problem*)

CELMÉC IV, San Martino el Cimino 11-16 septembre 2005 (*Unchained polygons in the equal mass  $N$ -body problem*)

### **2006**

Colloque international en l'honneur de Carles Simó, 29 mai-13 juin, S'Agaró (*The flow of the equal mass three-body problem in the neighborhood of the Lagrange equilateral relative equilibrium*)

International conference on Hamiltonian systems, Nanjing June 18-23 *Unchained polygons and the n-body problem*

**2007**

International conference on variational methods, Nankai University, Tianjin May 20-26 *Action minimization and global continuation of Lyapunov families stemming from relative equilibria*

Colloque international de systèmes dynamiques, Oberwolfach 8-14 juillet 2007 *Global continuation of relative equilibria and action minimization*

International conference in honor of S. Lopez de Medrano, Mexico, 22-26 octobre 2007 *Unchained polygons*

**2008**

Abel Symposium, Tromso 18-21 juin 2008 *Action minimization and global continuation of Lyapunov families stemming from relative equilibria*

Colloque international “Stability and instability in mechanical systems”, Barcelona CRM 22-26 septembre 2008 *Unchained polygons and the N-body problem*

**2009**

2009 NCTS Workshop on Dynamical Systems à l’Université Tsinghua de Taiwan (mai 2009)

Colloque CelMech à Viterbo (septembre 2009)

Symposium Mathematics and Astronomy, a joint long journey, Madrid novembre 2009

**2010**

Colloquium du département de mathématique de la National Taiwan University, Taipei, 10 mai 2010 : *Reduction of symmetries in the N-body problem*

Conférence *From Dynamical Systems to Symplectic Topology* en l’honneur d’Eddy Zehnder, ETH Zürich, 8 – 12 novembre 2010: *The symmetries of the N-body problem*

HAMSYS 2010 en l’honneur d’Ernesto Lacomba, Mexico City, 29 novembre – 3 décembre 2010: *The angular momentum of relative equilibria in higher dimensions*

**2011**

Conférence internationale *Geometrical methods in Dynamics and Topology*, Hanoi 18-22 avril 2011: *The angular momentum of a relative equilibrium*

Centre Chern de l’Université Nankai (Tianjin), 15 juin 2011: *The angular momentum of a relative equilibrium*

Colloque de Systèmes dynamiques, Oberwolfach juillet 2011 *The angular momentum of a relative equilibrium*

*International conference on Hamiltonian dynamics*, Nankin 21-27 août 2011: *The angular momentum of a relative equilibrium*

**2012**

Inauguration du laboratoire Fibonacci à l’E.N.S. de Pise, Pisa, 5-8 mars 2012: *Angular momentum and Horn problem*

Colloque international pour les 60 ans de Daniel Bennequin, Paris 12-16 mars 2012: *Moment cinétique et problème de Horn*

Institut mathématique Simon Stoilov de Bucarest à l'occasion du centième anniversaire de la mort de Poincaré, Bucarest 23 mars 2012 : *Une note de Poincaré International conference on variational methods*, Chern center, Nankai University, Tianjin, 21-25 mai 2012: *Angular momentum and Horn problem*

Conférence *Souriau's 90* à la mémoire de Jean-Marie Souriau, Aix en Provence 25-29 juin 2012 : *Angular momentum and Horn problem*

Journée Henri Poincaré, Institut d'astrophysique de Paris, 9 juillet 2012 : *Une promenade dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*

Montevideo Dynamical Systems Conference 2012, Montevideo 13-17 septembre 2012 : *Angular momentum and Horn problem*

Colloque international à la mémoire de Poincaré, Gijon 3-7 septembre 2012: *A walk through the New Methods of Celestial Mechanics*

Colloque d'histoire organisé pour le centième anniversaire de la mort de Poincaré, IMPA, Rio de Janeiro, 26-29 novembre 2012 : *A walk through the New Methods of Celestial Mechanics*

Colloque Poincaré Lorraine 2012, Metz & Nancy 12-14 décembre 2012 : *Une promenade dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*

**2013**

Colloque international de systèmes dynamiques, Oberwolfach 7-13 juillet 2013 *Angular momentum and Horn's problem*

Colloque de Mécanique céleste, Viterbo *Angular momentum in higher dimensions and Horn problem.*

Colloque "Des dynamiques singulièrement perturbées aux dynamiques de population" (à l'occasion du départ à la retraite d'Eric Benoît), La Rochelle, 16-18 décembre 2013 *Une note de Poincaré*

**2014**

Workshop "Symplectic techniques in topology and dynamics 2014", Université de Cologne, 22-26 septembre 2014, *Angular momentum and Horn's problem*

**2015**

Workshop on Hamiltonian Dynamical Systems à l'Université Fudan (Shanghai), 4-10 janvier 2015, *Non-avoided crossings for n-body balanced configurations in  $\mathbb{R}^3$  near a central configuration*

Astronomy and Dynamics, international workshop in honor of Jacques Laskar, Observatoire de Paris, 28-30 avril 2015, *Non-avoided crossings or why asking Jacques Laskar to make a computation may lead to unexpected results*

Oviedo, 3-5 juin 2015, Conférence en l'honneur de Angel Rodriguez-Mendez, *Non-avoided crossings for n-body balanced configurations in  $\mathbb{R}^3$  near a central configuration*

Workshop "Symplectic Techniques in Topology and Dynamics 2015", Université de Cologne, 24-28 août 2015, *Non-avoided crossings for n-body balanced configurations in  $\mathbb{R}^3$  near a central configuration*

**2016**

Conférence plénière au Congreso de Matemática Capricornio (Comca 2016) à l'Université Catholique du Nord, Antofagasta (Chili) 24 juillet - 10 août 2016 : *Angular momentum and Horn's problem*

Conférence dans le colloque international en l'honneur d'Eldar Straume, *Angular momentum and Horn's problem*, Norwegian University of Science and Technology (NTNU) Trondheim, 3-4 novembre 2016

**2017**

Colloque de Systèmes dynamiques, Oberwolfach 9-15 juillet 2017

Conférence plénière dans le colloque "Contemporary Mathematics" qui marque le 80<sup>ème</sup> anniversaire de Vladimir Arnold, Moscou 18-23 décembre 2017

**2018**

Conférence internationale "Geometry and Dynamics in interaction", Paris Observatory, 15-17 janvier 2018, *From periodic to quasi-periodic: bifurcations of n-body relative equilibria and Horn polytopes*

International Conference on Variational Methods (ICVAM-4), Chern Institute, Nankai University, Tianjin (China), 14-18 mai 2018 *n-body relative equilibria in higher dimensions*

Topologie différentielle et mathématique d'aujourd'hui, en l'honneur de Jean Cerf, Orsay, 11-13 juin 2018, *n-body relative equilibria in higher dimensions*

Perspective in Hamiltonian Dynamics, Venezia 18-22 juin 2018, *n-body relative equilibria in higher dimensions*

**2021**

Conférence dans le Colloque international de Dynamique Hamiltonienne en l'honneur de Jean-Pierre Marco *Local diffeomorphisms of the plane with a weakly attracting elliptic fixed point : some questions*, Paris, Université Paris-Dauphine, 10 juin 2021

Conférence internationale "Regular and Chaotic Dynamics" à la mémoire d'Alexey V. Borisov : *Elliptic fixed points with an invariant foliation: some facts and more questions*, Moscou (par Zoom pour cause de pandémie) 30 novembre 2021

[http://www.mathnet.ru/php/conference.phtml?confid=1952&option\\_lang=eng](http://www.mathnet.ru/php/conference.phtml?confid=1952&option_lang=eng)

**2023**

Conférence internationale "1923-2023 Centenaire de René Thom" : *Separating Actions from Angles*, I.H.É.S. 22 septembre 2023 [https://www.youtube.com/watch?v=H\\_YJym-bV80&t=107s](https://www.youtube.com/watch?v=H_YJym-bV80&t=107s)

## 9.2 Séminaires, journées et mini-cours depuis 1999

**1999**

Cours de Mécanique Céleste à l'école d'été des Tourelles (Montpellier) 20-24 septembre 1999 (*Introduction au problème des n corps*)

**2000**

Séminaire *Aspects de la géométrie*, IHP, 13 janvier 2000 (*La forme de n corps*)

Séminaire de Systèmes dynamiques de Paris VII, janvier 2000 (*Solutions périodiques du problème des n corps qui minimisent l'action*)

Séminaire à l'Université de Nice, 27 janvier 2000 (*Une solution périodique remarquable du problème des 3 corps dans le plan*)

Séminaire à l'École Normale Supérieure (Paris), 1er mars 2000 (*Un monde nouveau de solutions périodiques du problème des n corps dans le cas de masses égales*)

Séminaire à Londres (Board Nonlinearity meeting, University College), 14 mai 2000

Séminaire à l'Université Paris XIII, 17 mai 2000 (*Une nouvelle classe de solutions périodiques du problème des  $n$  corps dans le cas de masses égales*)

Séminaire à l'Université de Genève, 5 juin 2000 (*Une nouvelle classe de solutions périodiques du problème des  $n$  corps dans le cas de masses égales*)

Séminaire à l'École Polytechnique, 9 juin 2000 (*De nouvelles solutions périodiques du problème des  $n$  corps : minima de l'action et symétrie*)

Journées Scientifiques de l'IMC, 7-9 juin 2000 (*Une nouvelle classe de solutions périodiques du problème des  $n$  corps dans le cas où les masses sont égales*)

Séminaire à l'Universidade Federal de Pernambuco (Recife, Brésil), 3 août 2000  
*Soluções periódicas do problema dos  $n$  corpos que minimizam a ação Lagrangiana*  
**2001**

Séminaire à Marseille, 16 mai 2001 (*Solutions périodiques du problème des  $n$  corps minimisant l'action*)

Séminaire à l'Université de Barcelone, septembre 2001 (*Perverse solutions of the  $n$ -body problem*)

Séminaire à l'Université de Tours, 8 novembre 2001 (*Solutions périodiques du problème des  $n$  corps qui minimisent l'action*)

## 2002

Séminaire *Histoire de géométries*, Maison des sciences de l'homme, 11 mars 2002  
(*Quelques aspects du problème des  $n$  corps*)

Séminaire de Systèmes dynamiques de Paris VII, 2 avril 2002 (*Une belle idée de Christian Marchal et ce qui s'en suit*)

Laboratoire de Mécanique, 24 mai 2002 (*De nouvelles classes de solutions périodiques du problème des  $n$  corps*)

École normale de Cachan, Colloquium du CMLA, 31 mai 2002 (*Symétries et solutions périodiques du problème des  $n$  corps*)

Université de Barcelone, 17 juillet 2002 (*The absence of collisions for a minimizer of the fixed-ends  $n$ -body problem : idea of the proof and some consequences*)

Journées IUF de Nice, 5 et 6 septembre 2002 (*Stables jongleries, instables Hip-Hops ou les surprises du problème des  $n$  corps*)

Journée de Physique, Chevaleret, 25 octobre 2002 (*Minimisation de l'action et solutions du problème des  $n$  corps*)

## 2003

Journées de l'IMCCE, 5 mai 2003 (*Solutions du problème des  $n$  corps joignant deux configurations : l'idée de Christian Marchal et ce qui s'en suit*)

Biséminaire Mathématique-Physique, 14 octobre 2003 (*Symmetries and simple solutions of the  $n$ -body problem*)

Journées Maths et Cerveau, Chevaleret 21 novembre 2003 (*Minimisation et symétries dans le problème des trois corps*)

Colloquium de l'Institut Fourier, Grenoble 27 novembre 2003 (*Symétries et solutions "simples" du problème classique des  $n$  corps*)

Séminaire à l'E.N.S. Lyon (*Symétries et solutions "simples" du problème classique des  $n$  corps*)

## 2004

Journée de Mathématiques de l'Académie d'Orléans-Tours, 19 mai 2004 (*De l'espace des triangles au problème des trois corps*)

Conférence dans le cycle Fisymat de l'Université de Grenade, Granada, vers mai 2004

Cours sur le *Calcul des variations et la théorie KAM faible* à l'Université de Barcelone (5 cours), 28 juin - 3 juillet 2004

Conférence lors des journées d'étude sur le rôle de l'analyse complexe organisées par F. Norguet et S. Ofman, IHP 28 septembre - 1er octobre 2004 (*De l'espace des triangles au problème des trois corps*)

Conférence dans le colloque "3 corps, classique, quantique, discret-continu" organisé à l'E.N.S. par Guiseppe Longo et Thierry Paul, 28-29 septembre 2004 (*Les surprises de la solution équilatérale de Lagrange*)

Conférence au séminaire ASD, 21 octobre 2004 (*Introduction à la théorie KAM faible, 1er exposé*)

Conférence au séminaire ASD, 4 novembre 2004 (*Introduction à la théorie KAM faible, 2ème exposé*)

Conférence au séminaire ASD, 2 décembre 2004 (*Introduction à la théorie KAM faible, 3ème exposé*)

## 2005

Conférence à Nancy (colloquium ADSEG), 1er mars 2005 *Les surprises de la solution équilatérale de Lagrange*

Mini-cours (2 séances de 2 heures) dans le GDR Sud-Rhodanien, Avignon 10-12 mars 2005 (*Calcul des variations dans le cas convexe : une introduction au théorème KAM faible d'Albert Fathi et à la théorie de Mather des mesures minimales*)

Conférence à Avignon (GDR Sud-Rhodanien), 11 mars 2005 *Problème des trois corps : les surprises de la solution équilatérale de Lagrange*

Conférence à Lille, 18 mars 2005 (*Les surprises de la solution équilatérale de Lagrange*)

3 conférences à l'Université du Minnesota pendant mon séjour comme Ordway Professor :

– au colloquium de mathématique, le 28 avril 2005 *Symmetries and "simple" solutions of the classical n-body problem*

– au séminaire de systèmes dynamiques, le 29 avril 2005 *Unchained polygons in the equal-mass n-body problem*

– au "junior colloquium", le 3 mai 2005 *The shape of a triangle*

Mini-cours (5 séances d'1 heure) de *géométrie différentielle* dans l'Ecole d'été Maths & cerveau, Institut Henri Poincaré, 13-24 juin 2005

Participation à la rencontre CNRS – jeunes au futuroscope de Poitiers, le 22 octobre 2005

Mini-cours (4 séances d'1h30) *Conservative Dynamics and the Calculus of Variations* dans la 14ème Latin American School of Mathematics (ELAM) à Montevideo du 1er au 9 décembre 2005

## 2006

Séminaire du Greco (Observatoire de Paris) 9 février 2006 *Symétries et solutions périodiques du problème des  $n$  corps*

Colloquium de l'Académie de Bruxelles, 17 mars 2006 *Unchained polygons and the  $n$ -body problem*

Colloquium "Lezioni Guido Castelnuovo" Università La Sapienza, Roma 5 mai 2006 *The "form" of a triangle*

Colloquium département de Math. Università Tor Vergata, Roma 8 mai 2006 *Symmetries and "simple" solutions of the classical  $n$ -body problem*

5 cours sur le problème des  $n$  corps à l'Université de Granada (en espagnol) 17 - 21 avril

Invited lecture at the Purple Mountain Observatory, Nanjing June 14 2006 *The flow of the equal mass three-body problem in the neighborhood of the Lagrange equilateral relative equilibrium*

Séminaire de topologie Orsay, 19 octobre 2006 *Symétries et solutions périodiques du problème des  $n$  corps : chorégraphies, Hip-Hops et équilibres relatifs*

Maths club de Jussieu, 4 décembre 2006 *Des triangles dans le ciel*

**2007**

Colloquium département de Maths. Université d'Orléans, 18 janvier 2007 *Symétries et solutions périodiques du problème des  $n$  corps : chorégraphies, Hip-Hops et équilibres relatifs*

Colloquium département de Maths. Université d'Angers, 2 février 2007 *La "forme" de  $n$  corps*

Colloquium département de Maths. Université de Lille, 9 février 2007 *Symétries et solutions périodiques du problème des  $n$  corps : chorégraphies, Hip-Hops et équilibres relatifs*

Shoudu Shifan Daxue, Beijing, 2 invited lectures:

- May 30 2007 *Symmetries and "simple" solutions of the classical  $n$ -body problem*
- May 31 2007 *Rotating Eights*

4 lectures on the  $N$ -body problem, Nato school, Montreal June 18-29 2007

5 cours à l'Universidad Católica del Norte, Antofagasta, 3-14 décembre 2007 *Conservative dynamics and the calculus of variations*

**2008**

Conférence de Séminaire à l'Université Paul Sabatier, Toulouse 14 février 2008 *Polygones déchainés dans le problème des  $n$  corps*

Conférence au séminaire d'histoire des sciences, Toulouse 15 février 2008 *Poincaré Ê: une promenade dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*

Conférence au séminaire de Systèmes dynamiques de l'IMJ, Paris 7 mars 2008 *Des polygones réguliers aux chorégraphies et aux Hip-hops*

Conférence au Séminaire d'histoire des géométries, Maison des sciences de l'homme, Paris 17 mars 2008 *Poincaré : une promenade dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste* <http://www.ahm.msh-paris.fr/Video.aspx?domain=84fa1a68-95c0-4c74-aed7-06055edaca16&language=fr&metaDescriptionId=f7631082-f5c2-4fff-af11-da2dc718d885&mediatype=VideoWithShots>

5 cours à l'Université Tsing Hua, *The  $N$ -body problem: 5 lectures on symmetries and periodic solutions*, Pékin 25 mai-13 juin 2008

Conférence à l'Université Capitale Normale de Pékin, 3 juin 2008 *Poincaré : a trip through the New Methods of Celestial Mechanics*

Colloquium de Nantes, 9 octobre 2008 *Poincaré, un promende dans les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*

Colloquium de Rennes, 20 octobre 2008 *Des polygones réguliers aux chorégraphies et aux Hip-hops*

Réunion de l'ANR KAM faible, Bordeaux, 23 octobre 2008 *Minimisation de l'action sous contraintes de symétrie et prolongement de familles de Lyapunov : un exemple.*

### 2009

Séminaire de géométrie complexe, IHP mars 2009 *Des polygones réguliers aux chorégraphies et aux Hip-Hops.*

Mini-cours, Université Tsing Hua, Taiwan, mai 2009 *Sur la théorie KAM faible*

Colloquium de l'Université TsingHua (Hsinchu, Taiwan), 25 mai 2009 *Continuous and discrete symmetries in the n-body problem.*

Conférence au séminaire d'équations différentielles de la National Taiwan University, 26 mai 2009 *Bifurcating from relative equilibria: surprises and limitations of the minimization method.*

Colloquium du département de mathématique de l'Université de Bâle, 15 octobre 2009 *Des polygones réguliers aux chorégraphies et aux Hip-Hops.*

### 2010

Colloquium du centre de mathématique de l'Ecole Polytechnique, 8 janvier 2010 *Des polygones réguliers aux chorégraphies et aux Hip-Hops.*

Cours de mécanique céleste à Segovia dans le cadre du réseau D.A.N.C.E., 25-30 janvier 2010

Rencontre sur l'observation en mathématique, organisée par Karine Chemla et Jean-Jacques Szczeciniarz, Université Paris 7, 19 février 2010

Colloque "La reconquête de la géométrie par la dynamique après Lagrange", IHES 24-26 mars 2010 *La réduction du problème des trois corps par Lagrange.*

Séminaire on Mathematical General Relativity, 31 mars 2010 *Institut d'Astrophysique Symétries continues et symétries discrètes dans le problème des N corps.*

Mini-cours *Reduction of symmetries in the N-body problem*, may 2010 Université TsingHua, Hsinchu (Taiwan)

Journées de l'IMCCE, 22-24 novembre 2010 (*Le moment cinétique d'un équilibre relatif en grande dimension*)

### 2011

Séminaire de philosophie et mathématique, Ecole Normale Supérieure, Paris, 31 janvier 2011 : *Minimisation de l'action lagrangienne et symétrie dans le problème des n corps*

Séminaire de l'équipe ASD, IMCCE, Paris 17 février 2011: *Le moment cinétique d'un équilibre relatif*

Minicours (3 séances) à la "Hanoi University of Education, Hanoi, 18-22 avril 2011: *the Lagrange reduction of the N-body problem*

Cours d'un mois à l'Université "Capital Normal" (Shoudu Shifan Daxue), Pékin, juin 2011: *the Lagrange reduction of the N-body problem*

Conférence au centre culturel de l'ambassade de France à Pékin (Café des sciences), 30 juin 2011: *La danse des planètes* <http://www.ambafrance-cn.org/12eme-Cafe-des-sciences-La-danse-des-planetes>

Minicours, Université Sergio Arboledo, Santa Marta, Colombie, 28 novembre au 2 décembre 2011: *An introduction to the n-body problem, with emphasis on symmetries and on periodic and quasi-periodic solutions*

## 2012

Séminaire de Systèmes dynamiques de l'I.M.J., Paris 13 janvier 2012: *Moment cinétique et problème de Horn*

Séminaire du département de mathématique de l'Université d'Avignon, Avignon 7 février 2012: *Moment cinétique et problème de Horn*

Minicours à l'Université Tsing Hua, Pékin 7-19 mai 2012, *From Euler-Lagrange equations to twist maps*

Minicours à l'Université Capital Normal (Shoudu Shifan Daxue), Pékin 28 mai - 16 juin 2012, *Weak KAM theory*

Conférence à l'Université Xi Nan Jiaotong, Chengdu, 18-21 juin 2012, *The surprises of the symmetric relative equilibria of the N-body problem in  $\mathbb{R}^3$*

Éloge de Poincaré, prononcé le 9 juillet 2012 au cimetière du Montparnasse à l'occasion de la "journée Poincaré" organisée à l'Observatoire de Paris.

Séminaire de Systèmes dynamiques, Universidad de la Republica, Montevideo, 20 août 2012, *Un paseo por los nuevos métodos de la mecánica celeste*

Conférence à l'Alliance française de Montevideo, 20 août 2012, *Le problème de trois corps*

Conférence au séminaire Poincaré (Bourbaphy) à l'I.H.P. Paris, 24 novembre 2012 *Poincaré et le problème des trois corps*

Conférence au séminaire de systèmes dynamiques, Itabayana, 3 décembre 2012 *Uma nota de Poincaré*

Conférence au séminaire de mécanique céleste, Aracaju 4 décembre 2012 *Momento angular e problema de Horn*

Conférence au colloquium, Aracaju 5 décembre 2012 *Uma caminhada por os Novos Métodos da Mecânica Celeste*

Conférence au séminaire, Recife 6 décembre 2012 *Angular momentum and Horn problem*

Conférence au colloquium, Recife 6 décembre 2012 *A walk through the New Methods of Celestial Mechanics*

## 2013

Mini-cours à l'Université Shoudu Shifan Daxue, Pékin, 2 au 14 juin 2013 *Quasi-collision solutions of the three-body problem*

Conférence au Morningside center of mathematics, Académie des sciences de Pékin, 20 juin 2013 *Angular momentum and Horn problem*

Conférence à l'Université Tsinghua, Pékin, 24 juin 2013 *Poincaré and the three-body problem*

Conférence à l'Université Tsinghua, Pékin, 24 juin 2013 *A note by Poincaré*

Conférence "Sciences et Société" à Nancy, 26 septembre 2013 *Le problème des trois corps*

Conférence à l'Université d'Oviedo, 17 octobre 2013 *Newton tenía razón: El problema de los tres cuerpos es demasiado difícil*

Conférence aux étudiants de première année de l'Université d'Oviedo, 21 octobre 2013 *From the mean value theorem to Liouville numbers and Peano curves*

Mini-cours à l'Université d'Oviedo, 23, 30 et 31 octobre 2013 1) *El problema de Kepler*, 2) *Soluciones simétricas del problema de n cuerpos*

#### 2014

Conférence à l'Université du Luxembourg dans le cadre des "jeudis des sciences", 27 février 2014, *Le problème des trois corps*

Conférence dans le "Séminaire Darboux", LPTHE, Jussieu 24 mars 2014, *Moments cinétiques en grandes dimensions et problème de Horn*

Mini-cours au Chern Institute de l'Université Nankai (Tianjin), 19-23 mai 2014 *Quasi-collision solutions of the three-body problem*

Conférence à l'Association des amis de Jean Cavaillès, ENS 29 novembre 2014, *Ombres et traces*

#### 2015

Conférence à l'Université Normale de Pékin (Beijing Shifan daxue), *A note by Poincaré*, 12 janvier 2015

2 conférences à l'Université Capital Normal de Pékin (Shoudu shifan daxue) : *Non-avoided crossings for n-body balanced configurations in  $\mathbb{R}^3$  near a central configuration*, 13 janvier 2015

*Shadows and traces*, 15 janvier 2015

Cours d'un mois à l'Université Tsinghua (Pékin) : *Discrete dynamical systems* (polycopié de 50 pages), 2-29 mars 2015

Conférence à l'université du Shandong (Jinan), *Shadows and traces*, 6 mars 2015

Conférence à l'institut Chern de l'université Nankai (Tianjin), *Non avoided crossings*, 20 mars 2015

Conférence à l'université Tsinghua (Pékin) *Angular momentum and Horn problem*, 26 mars 2015

#### 2016

Mini-cours à Merida (Mexique), *The algebraic side of the N-body problem: reduction, singularities, relative equilibria*, 18-29 janvier 2016

Conférence au séminaire de philosophie et mathématique de l'E.N.S. *Vous avez dit ÔqualitatifÓ ?*, 15 février 2016 <http://savoirs.ens.fr/expose.php?id=2477>

Colloquium à l'Institut de Mathématique de l'Université de Münster *Angular momentum and Horn's problem*, 3 mai 2016

Colloquium à l'IRMAR, Université de Rennes *Angular momentum and Horn's problem*, 9 mai 2016

Conférence dans le séminaire ASD, Observatoire de Paris à l'occasion du centième anniversaire de la mort de Claude Shannon *Le grand théorème de Shannon ou la force d'une idée simple*, 26 mai 2016

Conférence dans la Rencontre entre Mathématiciens et Physiciens Théoriciens dédiée à Poincaré *Une note de Poincaré*, Strasbourg, IRMA, 2-4 juin 2016

Conférences et minicours à l'Université Catholique du Nord, Antofagasta (Chili)  
24 juillet - 10 août 2016 :

2 conférences au colloquium du département de mathématique :

*Poincaré and the three-body problem* 27 juillet 2016

*A note by Poincaré* 28 juillet 2016

Minicours (4 séances) *Shannon's theorems: the strength of a simple idea*

Conférence dans la Rencontre entre Mathématiciens et Physiciens Théoriciens  
dédiée à Thom *The two ways of stability in dimension 2: normal hyperbolicity  
and tangential twist*, Strasbourg, IRMA, 1-3 septembre 2016

Minicours à l'Université Capital Normal (Pékin) *An introduction to information  
theory*, du 10 septembre au 2 octobre 2016

Conférence au Musée des sciences et des Technologies de Chine, Pékin, *Claude  
Shannon et la théorie de l'information : la force d'une idée simple*, 24 septembre  
2016 <http://v.qq.com/x/cover/7p9udmwg2eo5yil.html?vid=a0021hxauw1>

<http://www.ambafrance-cn.org/Conference-d-Alain-Chenciner>

2 conférences à l'Université Xinan Jiaotong (Chengdu), 3 au 12 octobre 2016 :

*Shannon's theorems: the strength of a simple idea* 8 octobre 2016

*The two ways of stability in dimension 2 : normal hyperbolicity and tangential  
twist* 10 octobre 2016

Conférence à l'Université des sciences et technologies électroniques de Chine  
(UESTC, Chengdu) *Claude Shannon : the strength of a simple idea*, 11 octobre  
2016

<http://www.ambafrance-cn.org/Conference-d-Alain-Chenciner-a-l-UESTC>

Conférence à l'ENS Lyon *Le grand théorème de Shannon ou la force d'une idée  
simple*, 8 décembre 2016

## 2017

Cours d'un mois à l'Université Tsinghua (Pékin) : *Discrete dynamical systems*  
20 février-20 mars 2017

Conférence à l'Université Tsinghua (Pékin) : *Perturbing a planar rotation: nor-  
mal hyperbolicity and angular twist*, 23 février 2017

Conférence à l'Université Capital Normal (Pékin) : *Perturbing a planar rotation:  
normal hyperbolicity and angular twist*, 9 mars 2017

Mini-cours à l'Université Xinan Jiaotong (Chengdu), 20 mars-2 avril 2017 *In-  
troduction to the restricted three-body problem*

Conférence à l'Université UESTC, Chengdu : *A note by Poincaré*, 28 mars 2017

Conférence au DMA (ENS Paris) : *La naissance de la théorie de l'information  
ou la force d'une idée simple*, 11 mai 2017

Séminaire de géométrie hamiltonienne, Paris 6, 24 novembre 2017, *Les coor-  
données action-angle ? Une simple histoire d'action de tore (d'après Nguyen  
Tien Zung)*

## 2018

Colloquium Université d'Augsburg, 22 janvier 2018, *Perturbing a planar rota-  
tion: normal hyperbolicity and angular twist*

Cours d'un mois à l'Université Tsinghua (清华大学) (Pékin) : *From Euler-  
Lagrange equations to twist maps*, 25 mars-20 avril 2018

Conférence à l'Université Capital Normal (首都师范大学) (Pékin), *Action-angle coordinates ? A simple story of torus action (according to Nguyen Tien Zung)*, 3 avril 2018

Cours de deux semaines à l'Université Xinan Jiaotong (Chengdu) : *Introduction to Hamiltonian Dynamics*, 23 avril-7 mai 2018

Conférence au département de littérature comparée de l'Université Tsinghua (Pékin), *the Three-Body problem*, 10 mai 2018

Conférence en chinois à l'Université Capital Normal (首都师范大学) (Pékin) : 三体问题 = *Le problème des trois corps*, 20 septembre 2018

Colloquium du laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice : *Equilibres relatifs de  $n$  corps en grandes dimensions*, 8 octobre 2018

Séminaire de l'équipe "Géométrie, analyse et dynamique" du laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice : *Les coordonnées action-angle ? Une simple histoire d'action de tore*, 9 octobre 2018

### 2019

Cours d'un mois à l'Université Tsinghua (清华大学) (Pékin) : *From elliptic fixed points of 2d-diffeomorphisms to dynamics in the circle and the annulus*, 15 avril-17 mai 2019

Conférence à l'Université Beihang (北京航空航天大学) (Pékin) : *Angular momentum and Horn's problem*, 25 avril 2019

Conférence en chinois à l'Université Capital Normal (首都师范大学) (Pékin): *Equilibres relatifs du problème des  $N$ -corps en dimensions supérieures (更高维度  $N$ 体问题的相对平衡运动)*, 30 avril 2019

Conférence à l'Université Normale de Pékin (北京师范大学) : *Angular momentum and Horn's problem*, 17 mai 2019

Conférence à l'Académie des Sciences Michel Herman, *multiple et sans compromis*, Hommage à Michel Herman et Jean-Christophe Yoccoz, 1er octobre 2019

### 2021 (Visio-conférences pour cause de pandémie)

Conférence dans le "Matemairacorana workshop", célébrant le 80<sup>ème</sup> anniversaire d'Hildeberto Cabral : *ABC or  $N$ -body relative equilibria in higher dimensions*, Recife 23 février 2021

Conférence dans le séminaire GDM (Geometry, Dynamics and Mechanics) : *ABC or  $N$ -body relative equilibria in higher dimensions*, Padova, 11 mai 2021  
[https://mediaspace.unipd.it/media/GDM-2021-9.mp4/1\\_5g6poo27/165241241](https://mediaspace.unipd.it/media/GDM-2021-9.mp4/1_5g6poo27/165241241)

### 2022

Conférence dans le "Working group on Hamiltonian and symplectic dynamics" : *ABC*, Université Paris-Dauphine 8 juin 2022

### 2023

Conférence à l'Université Capital Normal (首都师范大学) (Pékin): *Normal forms* 23 mai 2023

Conférence à l'Université Bei Hang (北航) (Pékin): *Normal forms* 25 mai 2023



首都师范大学数学科学学院  
School of Mathematical Sciences, Capital Normal University

Distinguished Lecture Series in Mathematics 系列数学前沿学术讲座

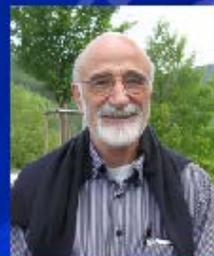
## Normal forms

**主讲人：Alain Chenciner**

法国巴黎天文台，巴黎七大

**报告时间：2023年5月23日（周二）上午10:00-11:00**

**报告地点：教二楼827**



### 摘要：

How to understand geometrically the main features of the action of a transformation and its iterates, or of the behavior of the solutions of a differential equation ?

At the end of 19th century, in his thesis, Poincaré introduces the notion of "normal form", that is the form taken by the map or the differential equation in a system of coordinates which reveals as much as possible of its qualitative behavior.

We shall consider this notion in one of its simplest occurrences, already very rich, the study of a local analytic diffeomorphism of the plane around an elliptic fixed point.

### 报告人简介：

Alain CHENCINER是动力系统与三体问题的著名专家，法国巴黎第七大学特级数学教授，美国数学学会会士，2012年国际数学家大会邀请报告人。他和法国天文学家 Jacques LASKAR院士一起创建巴黎天文台天体力学研究所天文学与动力系统研究小组。在中国作家刘慈欣的长篇小说《三体》的第146页，就提到了CHENCINER教授的研究工作。

**邀请人：魏巧玲**

### 主办单位：

School of Mathematical Sciences, Academy for Multidisciplinary Studies, CNU  
Beijing National Center for Applied Mathematics  
Beijing Advanced Innovation Center for Imaging Theory and Technology  
Beijing Key Laboratory of Light-field Imaging and Digital Geometry

**2024**

Série de conférence dans le “Working group on Hamiltonian and symplectic dynamics” : *Déploiement de phénomènes conservatifs dans la bifurcation de points fixes elliptiques faiblement attractifs*. 14 février, 28 février, 20 mars, ...

Colloquium Capital Normal University (首都师范大学), (Pékin) : *Unfolding of conservative phenomena in the bifurcation of weakly attracting elliptic fixed points*, 22 mai 2024

Conférence à l’Université de Pékin (北京大学) : *Separating actions from angles*, 28 mai 2024



*Musée des Sciences et Techniques, Pékin 24 septembre 2016*

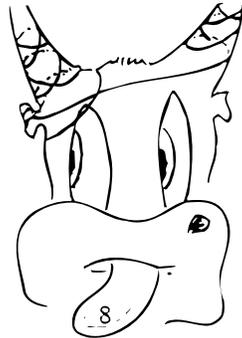


Figure 22 (illustration d'un texte de Pierre Duhem sur la "sensibilité aux données initiales", d'après [E])

Astronomie et Systèmes Dynamiques, IMCCE 77, avenue Denfert Rochereau,  
75014 Paris. tel (33) 01 40 51 20 31, Fax (33) 01 40 51 20 55, [alain.chenciner@obspm.fr](mailto:alain.chenciner@obspm.fr)  
<https://perso.imcce.fr/alain-chenciner/>

---

Université Paris Diderot. UFR de Mathématiques. Bâtiment Sophie Germain.

---