

## Conclusions et perspectives

Au cours de ce travail, nous avons étudié une grande diversité de machines de rayonnement synchrotron : Super-ACO avec ses 72 mètres de circonférence, l'ALS (196 mètres), SOLEIL (337 mètres) et l'ESRF (844 mètres). Suivant la taille de l'anneau, les approximations réalisées pour la modélisation varient (termes des petites machines, coins des aimants, champs de fuite des éléments magnétiques).

En utilisant le formalisme Hamiltonien, nous avons écrit un intégrateur des équations du mouvement d'une particule relativiste. Chacun des principaux éléments magnétiques a été modélisé par un Hamiltonien local à trois degrés de liberté. L'intégrateur utilise les méthodes d'algèbre de Lie qui devraient connaître en Europe un développement comparable à celui des Etats-Unis depuis leur introduction par A. Dragt. L'intégrateur proposé est un intégrateur symplectique d'ordre quatre à pas tous positifs dont la précision est supérieure d'un ordre de grandeur à l'intégrateur de Forest et Ruth.

L'Analyse en Fréquence a été notre principal outil d'investigation de la dynamique transverse des accélérateurs. En calculant une carte en fréquence pour une optique donnée, nous obtenons une vision globale de la dynamique du faisceau. L'allure des cartes en fréquence varie profondément d'une machine à l'autre ; elle est très sensible aux réglages hexapolaires. De nombreuses résonances d'ordre aussi bien faible qu'élevé détériorent la dynamique et induisent des mouvements chaotiques. La convergence rapide, la précision de la méthode, l'utilisation de la diffusion des orbites permettent également d'en faire un outil fiable pour prédire l'effet de l'introduction des défauts magnétiques dans le modèle, du déplacement du point de fonctionnement.

Nous avons vu qu'une fois connus, les défauts expérimentaux des gradients des quadripôles droits et tournés d'un anneau (déduits des matrices-réponse), une carte en fréquence décrit une dynamique très voisine de la dynamique réelle de l'accélérateur (taille de l'ouverture dynamique, efficacité d'injection).

Une étape supplémentaire a été franchie en obtenant les premières cartes en fréquence expérimentales d'un accélérateur. Les comparaisons avec le modèle théorique (de l'ALS) se sont avérées remarquables en termes de glissements des nombres d'ondes avec l'amplitude, de largeurs de résonance, de la diffusion des orbites au voisinage des nœuds entre les résonances.

Les deux outils nécessaires pour réaliser de telles expériences sont un jeu de BPM tour par tour et deux aimants rapides permettant de déplacer sur un seul tour le faisceau dans les plans horizontal et vertical.

L'Analyse en Fréquence peut ainsi être directement intégrée comme un des outils de diagnostic du faisceau dans la salle de contrôle d'un accélérateur. C'est déjà une réalité à l'*Advanced Light Source* où une carte en fréquence peut être tracée de manière quasi-automatique. Pour rendre l'utilisation de la méthode encore plus pratique, le système de mesure de l'ALS va être prochainement modifié pour permettre l'acquisition d'une carte en fréquence en une vingtaine de minutes.

A Super-ACO, même s'il était techniquement impossible d'obtenir une carte en fréquence, les mesures tour par tour du glissement des nombres d'ondes avec l'amplitude ont permis de

mettre en évidence le fort effet des champs de fuites des quadripôles (non modélisé jusqu'à présent). Leur inclusion dans le modèle de l'anneau révèle une dynamique entièrement différente et permet de mieux comprendre les performances actuelles de la machine (ouverture dynamique, résonances, réglages des hexapôles).

Les perspectives à la suite de ce travail sont nombreuses avec pour un des thèmes principaux, l'association de l'Analyse en Fréquence et des mesures tour par tour dans un accélérateur.

Ma courte expérience dans le monde des accélérateurs m'a convaincu du point essentiel suivant. Les écarts sur les performances des sources de lumière entre les prédictions et les mesures expérimentales sont très souvent proche d'un facteur deux. La raison principale est qu'il est impossible d'obtenir une description absolue des champs magnétiques, des positionnements des éléments dans l'anneau de stockage, de paramètres moins prévisibles (vibrations, marées solides, variations de la température).

Ne pouvant tout prévoir, il est par contre primordiale de prévoir, dès la construction d'un accélérateur (l'auteur pense en particulier au futur anneau de stockage SOLEIL), un grand nombre d'outils de diagnostic, outils qui constituent littéralement les « yeux » et les « oreilles » du physicien des accélérateurs. Ce sont en particulier des moniteurs de position tour par tour, des aimants rapides pour déplacer le faisceau sur un tour.

Nous avons vu que les mesures expérimentales sont souvent compliquées par le phénomène de la décohérence. Par exemple, le faisceau de l'ESRF « décohère » en une centaine de tours pour déjà de très faibles déplacements horizontaux du faisceau. Pour un anneau de la taille de l'ESRF, il doit être possible d'obtenir des données exploitables en modifiant la philosophie des mesures : au lieu d'enregistrer le signal sur un BPM particulier de l'anneau tous les tours, l'utilisation conjointe de l'ensemble des BPM doit permettre d'augmenter de manière significative l'échantillonnage des données.

A l'ALS, l'Analyse en Fréquence est et sera pleinement utilisée pour caractériser l'impact des trois aimants supraconducteurs qui vont être installés en août 2001 dans l'anneau et réduire sa périodicité de douze à trois. Des résultats récents (Steier, Robin, Wu, Decking, Laskar et Nadolski, 2001) reposent sur l'utilisation de cet outil pour caractériser et comprendre les causes de limitations de la dynamique *off momentum* de l'ALS.

Dans ce travail, l'Analyse en Fréquence a principalement été utilisée à travers les cartes en fréquence, *i.e.* en ne conservant que le premier terme de la décomposition quasi-périodique obtenue en analysant les trajectoires de phase. Une autre approche consiste à utiliser la décomposition complète donnée par l'Analyse en Fréquence. L'amplitude de chaque terme correspond à l'amplitude d'une résonance donnée. Il est ainsi possible d'extraire de nombreuses autres informations sur la dynamique et d'obtenir une nouvelle méthode d'optimisation d'un accélérateur.

Ces nouveaux développements devront être considérés pour permettre non seulement d'améliorer les accélérateurs actuels mais aussi de concevoir les prochaines générations de machines tels les sources de lumière de quatrième génération, les « usines à muon » et les collisionneurs.

# Bibliographie

- [1] Abell, D. : 1995, *Analytic Properties and Cremona Approximation of Transfer Maps for Hamiltonian Systems*, thèse, Université de Maryland
- [2] Abramowitz, M., Stegun, I.A. : 1972, *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, Inc., New York
- [3] Site internet de l'Advanced Light Source : <http://www-als.lbl.gov/als/>
- [4] *Advanced Light Source 1–2 GeV Synchrotron Radiation Source : Conceptual Design Report* LBNL publication PUB-5172, Berkeley, 1986
- [5] Amman, F. : 1971, *Longitudinal instability due to Beam-Beam Interaction in Electron Storage Rings*, Laboratori Nazionali di Frascati del CNEN, Rapport LNF-71/82
- [6] Arnold, V.I., Avez, A. : 1968, *Ergodic problems of classical mechanics*, Benjamin, New York
- [7] Audy, P. : 1989, *Le mouvement transverse dans un accélérateur circulaire affecté de non-linéarités hexapolaires : application au problème de l'ouverture dynamique* thèse, Université de Paris XI, Orsay
- [8] Barthès, M., Corlier, V., Daël, A., Evesque, C., Level, M.P., Nghiem, P. : 1990, *Mesures Magnétiques sur les Quadrupôles de Super-ACQ* Rapport RT/90-07, LURE, Orsay
- [9] Bartolini, R., Leunissen, L.H.A., Papaphilippou, Y., Schmidt, F., Verdier, A. : 1999, *Measurement of resonance driving terms from turn-by-turn data*, in Proceedings of the PAC99 Conference, New York, pp. 1457–1559
- [10] Bazzani, A., Todesco, E., Turchetti, G., Servizi, G. : 1994, *A normal Form Approach to the Theory of Nonlinear Betatronic Motion*, Rapport CERN 94-02
- [11] Bengtsson, J., Forest, E., Nishimura, H., *Tracy User's Manual*, note interne ALS, Berkeley
- [12] Bengtsson, J. : 1988, *Non-Linear Transverse Dynamics for Storage Rings with Applications to the Low-Energy Antiproton Ring at CERN*, Rapport CERN 88-05
- [13] Berz, M. : 1989, *Differential Algebraic Description of Beam Dynamics to very high Orders* Particule Accelerators, vol. 24, pp. 109–124
- [14] Berz, M. : 1999, *Modern Map Methods in Particle Beam Physics*, in Advances in Imaging and Electron Physics, vol. 108, Academic Press
- [15] Besnier, G., Laclare, J.L., Limborg, C. : 1996, *Difficulty in obtaining short intense electron bunches in conventional storage rings*, in Proceedings of the 10th ICFA Beam Dynamics Workshop, Grenoble

- [16] Brown, K.L. : 1982, *A First- and Second-Order Matrix Theory for the Design Of Beam Transport Systems and Charged Particle Spectrometers*, Rapport SLAC-75, Université de Stanford
- [17] Bruck, H. : 1966, *Accélérateurs circulaires de particules*, Presses Universitaires de France
- [18] Brunelle, P. : 1992, *Beam Dynamics with Four Undulators on Super-ACO : Experimental and Theoretical Results*, Particle Accelerators, vol. 39, pp. 89–106
- [19] Brunelle, P., Besson, J.-C., Cassinari, L., Cousin, J.-M., Darpentigny, J., Flynn, G, Girault, F., Lamarre, J.-f., Nadjj, A., Rieul, B., Sommer, M. : 1999, *News on beam dynamics at Super-ACO*, in Proceedings of the PAC99 Conference, New York, pp. 1569–1571
- [20] Brunelle, P. : 1999, *Effet des composantes multipolaires sur la variation des nombres d'ondes avec l'énergie. Comparaison avec les résultats expérimentaux pour Super-ACQ* Rapport interne Super-ACO/99-13
- [21] Carletti, T., Laskar, J. : 2000, *Scaling law in the standard map critical function. Interpolating Hamiltonian and frequency map analysis* Nonlinearity, vol. 13, pp. 2033–2061
- [22] Castro-Garcia : 1996, *Luminosity and beta function measurement at the electron-positron collider ring LEP*, thèse, CERN SL/96-70, Genève
- [23] Channel, P.J., Scovel, J.C. : 1990, *Symplectic integration of Hamiltonian systems*, Nonlinearity, vol. 3, pp. 231–259
- [24] Chao, A.W., Tigner, M. : 1998, *Handbook of Accelerator Physics and Engineering* World Scientific
- [25] Chirokov, B.V. : 1979, *A universal instability of many-dimensional oscillator systems*, Physics reports, vol. 52, N° 5, pp. 263–379
- [26] Courant, E.D., Snyder, H.S. : 1958, *Theory of the Alternating-Gradient Synchrotron*, Ann. Phys. 3, pp. 1–48
- [27] Decking W., Robin D. : 1998, *Momentum Aperture of the Advanced Light Source*, in Proceedings of the 16th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Nonlinear and Collective Phenomena in Beam Dynamics, Arcidosso, Italie pp. 1265–1267
- [28] Dragt, A.J., Finn, J.M. : 1976, *Lie series and invariant functions for analytic symplectic maps*, Journal of Mathematical Physics, vol. 17, N° 12, pp. 2215–2227
- [29] Dragt, A.J, Douglas, D.R., Neri, F., Mottershead, C.T., Forest, E., Healy, L.M., Ryne, R.D., Schutt, P., van Zeijts, J. : *MARYLIE 3.0 User's Manual*, Université de Maryland. Le code peut être obtenu à partir du site internet de l'université de Maryland, <http://www.physics.umd.edu/dsat/index.html>
- [30] Dragt, A.J. : 1981, *Lectures on nonlinear orbit dynamics*, Fermilab Summer School on high energy Particle, in AIP Conference Proceedings, vol. 8 (1982)
- [31] Dragt, A.J. : 1982, *Exact Numerical Calculation of Chromaticity in Small Rings* Particle Accelerators, vol. 12, pp. 205–218
- [32] Dragt, A.J., Forest, E. : 1986, *Lie Algebraic Theory of Charged-Particle Optics and Electron Microscopes*, in Advanced in Electronics and Electron Physics, vol. 67, pp. 67–120

- 
- [33] Dragt, A.J., Douglas, D.R., Healy, L.M., Ryne, R.D. : 1988, *Lie algebraic Treatment of linear and nonlinear Beam Dynamics*, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., vol. 48, pp. 455–496
- [34] Dragt, A.J. : 1996, *Maps Past, Present, and Future*, Part. Accel., vol. 54
- [35] Dragt, A.J., Abell, D.T. : 1996, *Symplectic Maps and Computation of Orbits in Particle Accelerators*, in *Integration Algorithms and Classical Mechanics*, Eds. Marsden, J.E., Patrick, G.W., Shadwick, W.F., Fields Institute Communications, vol. 10, American Mathematical Society (Providence, RI, 1996).
- [36] Dumas, H.S., Laskar, J. : 1993, *Global Dynamics and Long-Time Stability in Hamiltonian systems via Numerical Frequency Analysis*, Phys. Rev. Lett., vol. 70, pp. 2975–2979
- [37] *The ESRF Red Book*, Grenoble, Feb. 1987
- [38] Site internet de l'ESRF : <http://www.esrf.fr/>
- [39] Fartoukh, S. : 1997, *Méthodes d'analyse d'une ligne de focalisation finale dans le cadre du projet du collisionneur linéaire TESLA*, DAPNIA/SEA-97-02T, thèse CEA
- [40] Forest, E., Milutinović, J. : 1988, *Leading order hard edge fringed fields effect in  $(\delta+1)$  and consistent with Maxwell's equations for rectilinear Magnets*, Nucl. Inst. Meth., vol. A269, pp. 474–482
- [41] Forest, E., Ruth, R.D. : 1990, *Fourth-order symplectic integration*, Physica D, vol. 43(1), pp. 105–117
- [42] Forest, E., Bengtsson, J., Reusch, M. : 1991, non publié
- [43] Forest, E., Hirata, K. : 1992, *A Contemporary Guide to Beam Dynamics*, Rapport KEK 92-12
- [44] Forest, E., Ohmi, K. : 1992, *Symplectic Integration for Complex Wigglers*, Rapport KEK 92-14
- [45] Forest, E., Reusch, M.F., Bruhwiler, D.L., Amiry, A. : 1994, *The Correct Local Description for Tracking in Rings*, Particle Accelerators, vol. 45, pp. 65–94
- [46] Forest, E. : 1998, *Beam Dynamics : a new Attitude and Framework*, Harwood Academic Publisher
- [47] Les routines de *The Full Polymorphic Package (FPP)* écrites en FORTRAN90 par Forest peuvent être obtenues à l'adresse internet : [http://bc1.lbl.gov/CBP\\_pages/educational/TPSA\\_DA/Introduction.html](http://bc1.lbl.gov/CBP_pages/educational/TPSA_DA/Introduction.html). Un travail similaire a été fait par Michelotti en langage C++.
- [48] Ge, Z., Marsden, J.E. : 1988, *Lie-Poisson Hamilton-Jacobi theory and Lie-Poisson integrators*, Phys. Lett. A, vol. 133, pp. 134–139
- [49] Goldstein, H. : 1980, *Classical Mechanics*, 2nd Ed., Addison Wesley, Reading, MA
- [50] Grote, H., Iselin, F.C. : 1991, *the MAD Program, Version 8.1, User's Reference Manual*, CERN/SL/90-13
- [51] Guignard, G. : 1978, *A General Treatment of Resonances in Accelerators*, Rapport CERN 78-11
- [52] Hagedorn, R. : 1957, *Stability and amplitude ranges of two dimensional non-linear oscillations with periodical Hamiltonian*, Rapport CERN 57-1, Genève

- [53] Hénon, M., Heiles, C. : 1964, *The Applicability of the Third Integral of Motion : Some Numerical Experiments*, Astron. J., vol. 69, pp. 73–79
- [54] Hénon, M. : 1969, *Numerical Study of Quadratic Area-Preserving Mapping* Quarterly of Applied Mathematics, vol. XXVII, N° 3, pp. 291–312
- [55] Ian C. HSU, 1990, *The Decoherence and Recoherence of The Betatron Oscillation Signal and an Application*, Particle Accelerators, vol. 34, pp. 43–52
- [56] Iselin, F.C. : 1985a, *The MAD program (Methodical Accelerator Design) : reference manual*, Rapport CERN-LEP-TH/85
- [57] Iselin, F.C. : 1985b, *Lie Transformations and Transport Equations for Combined Function Dipoles*, Particle Accelerators, vol. 17, pp. 143–155
- [58] Iselin, F.C. : 1994, *The Mad Program : Physical Methods Manual*, Version 8.13, CERN
- [59] Landau, L., Lifchitz, E. : 1982, *Mécanique*, Ed. Mir Moscou, quatrième édition
- [60] Landau, L., Lifchitz, E. : 1984, *Théorie des champs*, Ed. Mir Moscou, quatrième édition
- [61] Laskar, J. : 1988, *Secular evolution of the solar system over 10 million years*, Astronomy & Astrophysics, vol. 198, pp. 341–362
- [62] Laskar, J. : 1990, *The chaotic motion of the solar system. A numerical estimate of the size of the chaotic zones*, Icarus, vol. 88, pp. 266–291
- [63] Laskar, J., Froeschlé, C., Celletti, A. : 1992, *The measure of chaos by the numerical analysis of the fundamental frequencies. Application to the standard mapping* Physica D, vol. 56, pp. 253–269
- [64] Laskar, J. : 1993, *Frequency analysis for multi-dimensional systems. Global dynamics and diffusion*, Physica D, vol. 67, pp. 257–281
- [65] Laskar, J., Robutel, P. : 1993a, *The chaotic obliquity of the planets*, Nature, vol. 361, pp. 608–612
- [66] Laskar, J., Robutel, P. : 1993b, *Stabilization of the Earth's obliquity by the Moon*, Nature, vol. 361, pp. 615–617
- [67] Laskar, J. : 1994, *Frequency Map Analysis of an Hamiltonian System*, Workshop on Non-linear dynamics in particle accelerators, in AIP Conference Proceedings 344, Arcidosso, Italie, pp. 130–159
- [68] Laskar, J., Robin, D. : 1996, *Application of Frequency Map Analysis to the ALS*, Particle Accelerators, vol. 54, pp. 183–192
- [69] Laskar, J. : 1999, *Introduction to Frequency Map Analysis*, in Proceedings of 3DHAM95 NATO Advanced Institute, S'Agaro, June 1995, C. Simó Ed., pp. 134–150
- [70] Laskar, J., Robutel, P. : 2000, *High order symplectic integrators for perturbed Hamiltonian systems*, Celestial Mechanics, à paraître
- [71] Le Duff, J. : 1993, *Single and multiple Touschek Effects*, in Proceedings of the fifth Advanced Accelerator Physics Course, Rapport CERN 95-06, pp. 573–586
- [72] Lee, S.Y. : 1992, *Review of Nonlinear Beam Dynamics Experiments*, in Proceedings of Nonlinear Problems in Accelerator Physics Workshop, Institute of Physics Series Number 131, Berlin, pp. 249–265

- 
- [73] Lee, S.Y. : 1998, *Accelerator Physics*, World Scientific
- [74] Level, M.P., Nghiem, P. : 1986, *Analyse des résultats des mesures magnétiques sur les dipôles de Super-ACO*, Rapport interne Super-ACO/86-24
- [75] Site internet de LURE : <http://www.lure.u-psud.fr/>
- [76] Meller, R.E., Chao, A.W., Peterson, J.M., Peggs, S.G., Furman, M. : 1987, *Decoherence of Kicked Beams*, Rapport SSC-N-360
- [77] Morbidelli, A., Giorgilli, A. : 1995, *Superexponential Stability of KAM Tori* J. Stat. Phys., vol. 78, pp. 1607–1617
- [78] Nadji, A. : 1992, *Sensibilité de la Maille de SOLEIL aux Défauts aléatoires*, Note SOLEIL/A/92-18, Orsay
- [79] Nadji, A., Flynn, G., Laclare, J.L., Level, M.P., Nghiem, P., Payet, J. : 1997, *Energy Acceptance and Touschek Lifetime Calculations for the SOLEIL Project* in Proceedings of the PAC97 Conference, Vancouver, Canada
- [80] Nadolski, L. : 1998, *Préétude de la dynamique des faisceaux de l'anneau de stockage SOLEIL avec l'Analyse en Fréquence*, CNRS/CEA, Rapport SOLEIL CRStage/ProgrammeSources/77.98/LN
- [81] Neri, F. : 1987, *Lie algebras and canonical integration*, Dept. of Phys., Université de Maryland
- [82] Nghiem, P. : 1989, *Vers un affinement du modèle de Super-ACO*, Super-ACO/89-15, LURE
- [83] Nghiem, P., Brunelle, P., Laclare, J.L., Level, M.P., Nadji, A., Payet, J., Sommer, M., Tkatchenko, A. : 1997, *Optics for SOLEIL at 2.5 GeV*, PAC97, Vancouver, Canada
- [84] Nishimura, H., Robin, D. : 1999, *Impact of Superbends at the ALS*, in Proceedings of the PAC99 Conference, New York, pp. 203–205
- [85] Oide, K. ; le code de tracking SAD est développé au KEK. A ma connaissance, les seules et rares informations existantes sont accessibles en anglais et principalement en japonais sur le site internet de SAD : <http://acc-physics.kek.jp/SAD/sad.html>
- [86] Papaphilippou, Y., Laskar, J. : 1996, *Frequency map analysis and global dynamics in a galactic potential with two degrees of freedom*, Astronomy & Astrophysics, vol. 307, pp. 427–449
- [87] Papaphilippou, Y., Laskar, J. : 1998, *Global dynamics of triaxial galactic models through frequency map analysis*, Astronomy & Astrophysics, vol. 329, pp. 451–481
- [88] Papaphilippou, Y., Schmidt, F. : 1998, *Normal Form Approaches and Resonance Analysis of LHC Models*, in Proceedings of the 16th ICFA Beam Dynamics Workshop on Nonlinear and Collective Phenomena Conference, Arcidosso, Italie
- [89] Papaphilippou, Y. : 1999, *Frequency maps of LHC models*, in Proceedings of the PAC99 Conference, New York, pp. 1554–1556
- [90] Papaphilippou, Y. : 2000, *Correction schemes for the normal octupole and decapole errors in the LHC dipoles*, in Proceedings of the EPAC2000 Conference, Vienne, Autriche, pp. 1063–1065

- [91] Papaphilippou, Y., Abell, D.T. : 2000, *Beam Dynamics Analysis and Correction of Magnet Field Imperfections in the SNS Accumulator Ring* in Proceedings of the EPAC2000 Conference, Vienne, Autriche, pp. 1453–1456
- [92] Papaphilippou, Y., Wei, J., Talman, R. : 2001, *Deflections in magnet fringe fields*, soumis à Phys. Rev. E
- [93] Payet, J., Loulergue, A. : 1999, *BETA-LNS V5.0 User's Guide*, CEA–Saclay
- [94] Peggs, S.G., Talman, R.M. : 1987, *Nonlinear Problems in Accelerator Physics*, Rapport SSC-61
- [95] Pöschel, J. : 1982, *Integrability of Hamiltonian System on Cantor Sets*, Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. XXXV, pp. 653–695
- [96] Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P. : 1992, *Numerical Recipes — The Art of Scientific Computing*, Second Edition, Cambridge University Press
- [97] Robin, D., Portmann, G., Nishimura, H., Safranek, J. : 1996, *Model Calibration and Symmetry Restoration of the Advanced Light Source*, in Proceedings of the EPAC96 Conference, Sitges
- [98] Robin, D., Safranek J., Decking, W., Nishimura, H. : 1998, *Global Beta-Beating Compensation of the ALS W16 Wiggler*, in Proceedings of the PAC97 Conference, Vancouver, Canada, pp. 799–801
- [99] Robin, D., Safranek J., Decking, W. : 1999, *Realizing the benefits of restored periodicity in the Advanced Light Source*, Phys. Rev. ST Accel. Beams 2, 044001
- [100] Robin, D., Steier, C., Laskar, J., Nadolski, L. : 2000, *Global Dynamics of the Advanced Light Source Revealed through Experimental Frequency Map Analysis*, Phys. Rev. Let., vol. 85, Issue 3, pp. 558–561
- [101] Ruth, R. : 1983, *A canonical Integration Technique*, IEEE Trans. Nucl. Sci., Ns-30, pp. 2669–2671
- [102] Ruth, R. : 1985, *Single Particle Dynamics and Nonlinear Resonances in Circular Accelerators*, in Proceedings of the US/CERN Accelerator School, Rapport 1985 :0037, pp. 37–63
- [103] Safranek, J. : 1997, *Experimental Determination of Storage Ring Optics Using Orbit Response Measurements*, Nucl. Intr. and Meth., vol. A388, pp. 27–36
- [104] Safranek, J., Kramer, S.L. : 1997, *Experimental Calibration of VUV Ring Optics*, in Proceedings of the PAC97 Conference, Vancouver, Canada, pp. 448–450
- [105] Sands, M. : 1970, *The Physics of Electron Storage Rings. An Introduction*, Rapport SLAC-121
- [106] Sanz-Serna, J., M. : 1988, *Runge-Kutta schemes for Hamiltonian systems*, BIT, vol. 28, pp. 877–883
- [107] Schachinger, L., Talman, R. : 1987, *TEAPOT : A Thin-Element Accelerator Program for Optics and Tracking*, Part. Accel., vol. 22, pp. 35–56
- [108] Schoch, A. : 1958, *Theory of linear and non-linear perturbations of betatron oscillations in alternating gradient synchrotrons*, Rapport CERN 57-21, Genève



- 
- [109] Shi J., Ohnuma, S. : 1993, *Decoherence and Recoherence of Beam in Phase Space*, Proceeding de PAC93, pp. 3603–3605
- [110] *SOLEIL : Rapport d'Avant Projet Détaillé*, CEA-CNRS, 1999. Rapport accessible sur le site internet de SOLEIL : <http://www.soleil.u-psud.fr/>
- [111] Sommer, E.M., Brunelle, P., Level, M.P., Marin, P.C., Nadji, A., Zyngier, H : 1992, *Operation of Super-ACO with Multiple Insertions*, in Proceedings of the 2nd International Conference on Synchrotron Radiation Sources, Indore, Inde
- [112] Steffen, K. : 1985, *Basic course on accelerator optics*, in Rapport CERN 85-19, p. 25 sqq.
- [113] Steier, C. : 2000, *Fully coupled analysis of orbit response matrices at the ALS* in Proceedings of the EPAC2000 Conference, Vienne, Autriche, pp. 1080–1082
- [114] Steier, C., Robin, D., Laskar, J., Nadolski, L. : 2000, *Lattice Model Calibration and Frequency Map Measurements at the ALS*, in Proceedings of the EPAC2000 Conference, Vienne, Autriche, pp. 1077–1079
- [115] Steier, C., Robin, D., Wu, Y., Decking, W., Laskar, J., Nadolski, L. : 2001, *Understanding the Dynamic Momentum aperture of the Advanced Light Source* preprint in Proceedings of the PAC2001 Conference, Chicago
- [116] Suzuki, M. : 1991, *General theory of fractal path integrals with applications to many-body theories and statistical physics*, J. Math. Phys., vol. 32, N° 2, pp. 400–407
- [117] Tabor, M. : 1988, *Chaos and Integrability in nonlinear Dynamics : an Introduction*, Wiley-Interscience
- [118] Terebilo, A., Pellegrini, C., Cornacchia, M., Corbett, J., Martin, D. : 1998, *Experimental Non Linear Beam Dynamics Studies at SPEAR*, in Proceedings of the PAC97 Conference, Vancouver, Canada, pp. 1457–1459
- [119] Todesco, E., Gemmi, M., Giovannozzi, M. : 1997 *NERO : a code for the Nonlinear Evaluation of Resonances in One-turn Mappings* Comp. Phys. Commun., vol. 106, pp. 169–180
- [120] Todesco, E. : 1999, *Overview of single-particle nonlinear dynamics* in Proceedings of Nonlinear and Collective Phenomena in Beam Physics — 1998 Workshop, Eds. Chattopadhyay, S., Cornacchia, M., Pellegrini, C., pp. 157–172
- [121] Yoshida, H. : 1990a, *Conserved Quantities of Symplectic Integrators for Hamiltonian Systems*, Preprint
- [122] Yoshida, H. : 1990b, *Construction of high order symplectic integrators* Phys. Let. A, vol. 150, N° 5-7, pp. 262-268
- [123] Yoshida, H. : 1993, *Recent progress in the theory and application of symplectic integrators*, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, vol. 56, pp. 27–43
- [124] Wiedemann, H. : 1993 et 1995, *Particle Accelerator Physics I and II*, Springer-Verlag
- [125] Zimmermann, F. : 2000, *Tune Shift with Amplitude induced by Quadrupole Fringe Fields* CERN-SL-2000-009 AP, Neutrino factory, Note 18

