

MINISTÈRE DÉLÉGUÉ À LA RECHERCHE
ET AUX NOUVELLES TECHNOLOGIES

Action Concertée Incitative
“Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs”

Dossier No 1027

Modélisation Stochastique de Systèmes Hors Équilibre

Durée: 2004–2008

Responsable scientifique: Nils Berglund

Rapport final

1er juin 2008

Table

1	Présentation du projet	3
1.1	Objectifs principaux	3
1.2	Membres du projet	4
1.3	Collaborations	4
2	Utilisation des moyens	4
2.1	Missions	4
2.2	Congrès	5
2.3	Invitations	5
2.4	Équipement	6
3	Résultats scientifiques	6
3.1	Principaux résultats obtenus	6
3.2	Perspectives	9
3.3	Publications	10

1 Présentation du projet

L'ACI Jeunes Chercheurs *Modélisation Stochastique de Phénomènes Hors Équilibre* s'est déroulée d'août 2004 à avril 2008 (initialement prévue jusqu'à août 2007, elle a bénéficié d'une prolongation de 8 mois). Son but était de soutenir des collaborations existantes, et (surtout) de développer des collaborations nouvelles autour de la dérivation et de l'analyse de modèles stochastiques pour des phénomènes de la mécanique statistique hors équilibre. Elle a été soutenue par le Ministère Délégué à la Recherche à hauteur de 70'000.- Euros.

1.1 Objectifs principaux

La mécanique statistique hors équilibre des systèmes ouverts ne repose pas encore sur des bases mathématiques aussi solides que la mécanique statistique à l'équilibre. L'un des problèmes importants est de comprendre et modéliser l'effet de réservoirs extérieurs sur les propriétés de transport, de localisation et de dissipation d'énergie du système hors équilibre. Ces phénomènes jouent un rôle fondamental dans la description de systèmes mésoscopiques tels que les nanostructures.

Bien que l'idée de modéliser l'action du réservoir par un processus *stochastique*, ou *bruit*, est assez ancienne en physique, ces dernières années ont vu des développements importants dans la justification mathématique rigoureuse de ces modèles stochastiques. On mentionnera notamment la théorie des systèmes couplés de manière rationnelle à un champ classique étudiés par Eckmann, Pillet, Rey-Bellet et Thomas [EPRB99, RBT00, RBT02], les systèmes d'équations différentielles stochastiques lentes-rapides considérées par Khasminskii [Kha66, Arn01], ainsi que les modèles quantiques d'interactions répétées développés notamment par Attal et Pautrat [PA03].

En réunissant de jeunes chercheurs spécialisés dans les divers domaines jouant un rôle dans cette thématique complexe, le projet de recherche a mis en commun les compétences nécessaires à son étude, en jouant sur les deux axes complémentaires que sont la mise en équation des systèmes et l'étude des équations résultantes. Plus précisément, le projet devait porter sur les aspects suivants:

- La dérivation d'équations d'évolution effectives stochastiques pour des réservoirs quantiques, du type champs de bosons, en particulier à température non nulle. L'objectif principal de cette étude a été d'obtenir une classification plus précise des différents types d'équations stochastiques effectives (caractère markovien ou non, commutatif ou non, fonctions de corrélation), et de l'influence des caractéristiques du réservoir (température, nature du couplage) sur ces propriétés. Cette partie du projet a été traitée plus particulièrement par S. Attal (spécialiste des probabilités quantiques), W. Aschbacher (mécanique statistique quantique hors équilibre), J.-M. Barbaroux (systèmes quantiques à nombre infini de particules), et A. Joye (systèmes quantiques dépendant du temps).
- L'étude des équations obtenues, en particulier de l'influence du bruit sur les phénomènes de dissipation, de transport et de localisation (effets dynamiques sur des échelles de temps métastables et asymptotiques, existence d'états stationnaires hors équilibre, effet des breathers sur la convergence vers ces états, relations de fluctuation-dissipation, propriétés de synchronisation/désynchronisation). Les membres de l'équipe spécialisés dans ce domaine sont N. Berglund et B. Gentz (dynamique stochastique, en particulier dans le régime métastable) ainsi que B. Fernandez et J.-R. Chazottes (systèmes étendus et synchronisation).

1.2 Membres du projet

L'équipe originale du projet est constituée des personnes suivantes:

- **Walter Aschbacher** (TU Munich)
- **Stéphane Attal** (Université Lyon 1)
- **Jean-Marie Barbaroux** (CPT-CNRS Marseille, Université Sud Toulon-Var)
- **Nils Berglund**, responsable scientifique, (CPT-CNRS Marseille, Université Sud Toulon-Var; depuis le 1/09/07: MAPMO-CNRS, Université d'Orléans)
- **Jean-René Chazottes** (Ecole Polytechnique)
- **Bastien Fernandez** (CPT-CNRS Marseille)
- **Barbara Gentz** (WIAS Berlin; depuis le 1/09/06: Université de Bielefeld)
- **Alain Joye** (Institut Fourier, Grenoble)

A cette équipe est venu s'ajouter

- **Jean-Philippe Aguilar** (CPT-CNRS Marseille), en thèse chez Nils Berglund depuis le 1/09/05 (bourse ministère/ACI)

1.3 Collaborations

Au gré des activités de recherche, plusieurs collaborations se sont développées, et ont été partiellement soutenues par l'ACI. Sont concernés notamment les collaborations avec

- **Laurent Bruneau** (ATER à Toulon, puis Cergy-Pontoise; actuellement Maître de Conférences, Cergy-Pontoise)
- **Bernard Helffer** (Paris Sud)
- **Marco Merkli** (actuellement Memorial University of Newfoundland, Canada)
- **Yan Pautrat** (actuellement McGill University, Canada)
- **Semjon Vugalter** (LMU, Munich)

2 Utilisation des moyens

Les moyens dépensés se répartissent de la manière suivante:

- **34.4%**: Missions effectuées pour des visites entre membres de l'ACI
- **20.5%**: Participation à des congrès
- **15.3%**: Invitations de chercheurs extérieurs à l'ACI
- **29.8%**: Achat d'équipement informatique

2.1 Missions

La partie la plus importante des fonds a été utilisée pour des visites mutuelles entre membres de l'ACI, ingrédient essentiel au développement des collaborations. Ces missions se répartissent comme suit:

- J.-P. Aguilar: Berlin (2 missions)
- W. Aschbacher: Marseille (6 missions), Orléans (1 mission)
- J.-M. Barbaroux: Munich (5 missions), Orléans (1 mission)
- N. Berglund: Berlin (7 missions), Bielefeld (3 missions) et Lyon (1 mission)
- B. Fernandez: Berlin (2 missions), Orléans (1 mission)
- B. Gentz: Marseille (1 mission), Orléans (1 mission)
- A. Joye: Orléans (1 mission)

A noter qu'il y a eu d'autres visites mutuelles entre membres de l'ACI que celles mentionnées ici, financées par d'autres moyens, notamment par le programme RDSES de la European Science Foundation.

2.2 Congrès

Un cinquième du budget a financé la participation de membres de l'ACI à des congrès internationaux, des workshops et des écoles, dans le but de se tenir au courant des développements récents du domaine, d'établir de nouveaux contacts, et de valoriser les résultats obtenus. Ces participations se détaillent comme suit:

- J.-P. Aguilar: Cergy, Paris
- W. Aschbacher: Cergy, Marseille
- S. Attal: Marseille
- J.-M. Barbaroux: Berlin, Oberwolfach, Nantes, Paris
- N. Berglund: Les Houches, Novacella, Paris, Poitiers, Zurich
- B. Fernandez: Paris
- A. Joye: Cergy, Lille, Marseille, Vienne

Plusieurs congrès ont été l'occasion pour les membres de l'ACI de se rencontrer:

- Le congrès *Transport and Spectral Problems in Quantum Mechanics: A Conference in Honor of Jean-Michel Combes*, qui s'est déroulé à l'Université de Cergy-Pontoise du 3 au 9 septembre 2006 (Aguilar, Aschbacher, Barbaroux, Joye)
- Le workshop *Open Systems Days*, qui s'est déroulé à Marseille, les 9 et 10 novembre 2006 (Aguilar, Aschbacher, Attal, Berglund, Fernandez, Joye)
- Les *XIVe Rencontres Semiclassiques*, à Marseille du 15 au 19 janvier 2007 (Aguilar, Aschbacher, Attal, Barbaroux, Berglund, Joye)
- Le congrès *Inhomogeneous Random Systems*, à l'Institut Henri Poincaré, Paris, les 23 et 24 janvier 2007 (Aguilar, Berglund, Chazottes)

Enfin, les 21 et 22 février 2008 a eu lieu une rencontre finale à Orléans, dans le but de faire le point sur les résultats obtenus et sur les directions futures de recherche. Outre 5 membres de l'ACI (Aschbacher, Barbaroux, Berglund, Fernandez, Joye), ont participé avec un exposé à cette réunion Clément Pellegrini (en thèse chez Stéphane Attal), Rym Ben Saad (en thèse chez Claude-Alain Pillet), Stephan de Bièvre, Laurent Bruneau, Francis Comets et Sergei Tcheremchantsev. Le programme détaillé avec des fichiers de présentation est accessible en ligne à l'adresse

<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/berglund/aci/acifinal.html>

2.3 Invitations

Un certain nombre de scientifiques extérieurs à l'ACI ont été invités pour des collaborations scientifiques, la participation à des congrès locaux ou pour donner un cours. En particulier, citons

- S. Wugalter (Munich): 4 visites à Marseille
- V. Bach (Mayence): 1 visite à Grenoble afin de donner un cours
- S. Stein (Courant Institute, New York): exposé à un minisymposium organisé par S. Herrmann et N. Berglund lors du congrès ICIAM07, Zurich

2.4 Équipement

La partie équipement du budget a servi à remplacer les ordinateurs portables arrivés en fin de vie de cinq membres de l'ACI (Attal, Barbaroux, Berglund, Fernandez, Joye).

3 Résultats scientifiques

3.1 Principaux résultats obtenus

Etats quantiques hors équilibre

L'article Aschbacher–Barbaroux [A03] étudie le modèle de type XY qui décrit une chaîne de spins (quantiques) avec couplage anisotropique aux plus proches voisins. C'est l'un des modèles de la mécanique statistique quantique hors équilibre pour lequel il est possible d'étudier la dynamique. Malgré sa simplicité relative, ce modèle non trivial présente plusieurs avantages (c.f. [AP03]):

1. C'est un bon modèle pour tenter de retrouver les propriétés de transport non usuelles découvertes numériquement [STM96] et expérimentalement [SGO⁺00, SGO⁺01] dans les systèmes magnétiques de petite dimension.
2. Il permet de tester certaines idées générales sur la structure mathématique des modèles de mécanique quantique statistique hors équilibre (voir [AP03] et les références qu'il contient).

L'étude porte sur les propriétés de décroissance des corrélations dans les états hors équilibre. Le folklore veut que si l'on a des décroissances exponentielles à l'équilibre, à température positive, on doit observer des décroissances à longue portée pour les systèmes hors équilibre.

L'étude récente [A03] du modèle de type XY constitué de deux demi-chaînes de spins couplées en un point, représentant un petit système couplé à deux réservoirs à températures différentes, a montré que, contrairement au folklore, on obtenait une décroissance exponentielle des corrélations spin-spin transversales pour un état hors équilibre.

Ce constat amène alors plusieurs questions, liées à cette "propriété" issue du folklore, et aux propriétés générales pour les corrélations dans les états à l'équilibre et hors équilibre de modèles similaires (couplages réservoirs/petit système):

- Dans quelles circonstances plus générales les corrélations de certaines observables décroissent d'une manière exponentielle?
- Peut-on exhiber au moins un modèle pour lequel on obtiendrait une décroissance de type polynômiale?
- Ces propriétés persistent-elles dans les modèles multidimensionnels ($\dim \geq 2$): Par exemple, pour un modèle de deux réservoirs demi-plans, couplés le long d'une droite, ou encore, plusieurs ($N \geq 3$) demi-chaînes unidimensionnelles couplées, peut-on construire (au moins) un état hors équilibre et étudier ses propriétés dynamiques?

Le travail Aschbacher–Barbaroux [A04] répond à la première question en établissant un lien avec les propriétés spectrales de l'opérateur à deux points (matrice densité à une particule dans le cas d'états quasi-libres) et les décroissances des corrélations spin-spin. Pour un état quasi-libre ω_S sur l'algèbre CAR sur \mathbb{Z} , invariant par translation, et un facteur de forme tel que les corrélations s'écrivent comme le déterminant d'une matrice block 2×2 de Toeplitz (voir

[A03] et [A04] pour le détail), on montre que si le spectre de $s(\xi)$ (symbole de l'opérateur de densité S de ω_S) ne contient ni 1, ni 0, ni $1/2$ sur un ensemble de mesure strictement positive, alors on obtient une décroissance exponentielle des corrélations.

Cet article contient aussi plusieurs exemples de modèles et d'états quasi-libres qui ne vérifient pas les hypothèses du théorème. L'étude des corrélations spin-spin montre dans certains cas une décroissance exponentielle, et dans d'autre une décroissance (quasi) longue portée.

Le troisième point, sur les modèles multi-dimensionnels, est un projet de recherche en cours (W.H. Aschbacher et J.-M. Barbaroux).

Dans l'approche markovienne phénoménologique des systèmes ouverts, certains modèles d'intérêt pour la physique font usage de lindbladiens dépendant explicitement du temps pour décrire l'évolution des états. Le régime de variation lente du lindbladien avec le temps, régime adiabatique, est souvent invoqué pour décrire des solutions approchées de l'équation d'évolution au moyen d'un théorème adiabatique. Cependant, le caractère non autoadjoint du lindbladien interdit une transposition naïve du théorème adiabatique de la mécanique quantique à ce cas. Le travail Joye [A19] fournit une approximation adiabatique contrôlée dans un cadre abstrait, sans hypothèse de symétrie sur le générateur, qui s'applique en particulier aux générateurs lindbladien.

Systèmes d'interactions quantiques répétées

Ces systèmes consistent en un système quantique de référence interagissant en séquence avec les éléments successifs identiques d'une chaîne de sous-systèmes quantiques.

De tels systèmes apparaissent dans l'étude de deux types de problématiques avec des enjeux distincts. La première, de nature conceptuelle, concerne l'approche markovienne de systèmes quantiques ouverts au moyen de bruits quantiques. La seconde est liée à des modèles décrivant des expériences d'optique quantique effectuées en laboratoire depuis plus d'une vingtaine d'années.

Dans le premier cas, Attal et Pautrat ont montré récemment que des systèmes d'interactions quantiques répétées donnent une version discrétisée, dans un certain sens, de systèmes quantiques de référence soumis à un champ de bruits quantiques en température nulle. Le lien s'effectue au travers d'une procédure de limite du continu réminiscente de la limite de Van Hove, dans laquelle les temps d'interaction tendent vers zéro ainsi qu'une notion de distance appropriée entre éléments de la chaîne. En particulier, des générateurs de type Lindblad décrivent la dynamique effective des observables sur le système de référence.

Dans le deuxième cas, les expériences en question mettent un mode de champ électromagnétique dans une cavité munie de fenêtres en interaction avec une suite d'atomes issus d'un four dont le débit est contrôlé. C'est le schéma du "One Atom Maser". Des modèles d'interactions répétées sont utilisés pour décrire ou prédire le comportement de ces systèmes, en fonction de mesures effectuées sur les atomes à la sortie de la cavité. Notre point de vue est complémentaire et se focalise sur la dynamique effective du système de référence, ici le mode du champ EM.

L'article Attal–Joye [A08] généralise l'approche de Attal–Pautrat au cas de bruits quantiques à température non nulle, appelés bruit quantiques thermiques. La stratégie consiste à faire usage de la représentation GNS d'une chaîne d'éléments en équilibre thermique et à prendre la limite du continu décrite ci-dessus.

Le travail Attal–Joye [A07] considère différentes limites de type Van Hove de systèmes

quantiques d'interactions répétées dans lesquelles les éléments de la chaîne ne sont pas munis de topologie. On détermine en particulier des Lindbladiens non triviaux dépendant du régime des paramètres considéré. Par ailleurs, on montre que tout Lindbladien peut être obtenu comme limite de Van Hove d'un système d'interactions quantiques répétées.

Dans le papier Bruneau–Joye–Merkli [A15], on s'affranchit de la limite de type Van Hove et on décrit la limite à grand temps des systèmes quantiques répétées, pour toute valeur des paramètres de couplage et de durée des interactions. On montre l'existence d'un état asymptotique sur les observables du système de référence, ainsi que la positivité de la production d'entropie et la validité d'une forme de seconde loi de la thermodynamique.

L'article Bruneau–Joye–Merkli [P2], concerne des systèmes quantiques d'interactions quantiques répétées où les éléments de la chaîne ne sont plus identiques mais donnés par un processus aléatoire. De manière générale, la limite des grands temps n'existe pas. On détermine dans ce travail des conditions très générales assurant l'existence presque sûre d'une limite ergodique à grands temps de la dynamique effective des observables du système de référence. L'étude dans ce contexte aléatoire de la dynamique d'observables plus générales est en cours (Bruneau–Joye–Merkli), afin d'avoir accès aux notions de production d'entropie, de variation d'énergie et de forme moyennée de seconde loi de la thermodynamique.

Effet de perturbations stochastiques sur des systèmes étendus classiques

Cet aspect du travail se situe au carrefour de la théorie des systèmes étendus classiques, et de celle des équations différentielles stochastiques. Deux monographies récentes dues à des membres de l'ACI traitent de questions liées à ce domaine.

- L'ouvrage collectif [L3], édité par Chazottes et Fernandez, fait suite à une conférence organisée par ces derniers à l'Institut Henri Poincaré en juin 2004, dans le but de faire le point sur les résultats récents de ce domaine. Il contient des contributions d'une quinzaine de spécialistes internationaux du domaine.
- La monographie [L2] de Berglund et Gentz développe une approche originale à l'étude quantitative de solutions d'équations différentielles stochastiques à deux échelles de temps. Cette approche combine des résultats de théorie des perturbations singulières et d'analyse stochastique, dans le but de donner une description précise des trajectoires typiques de ces équations.

Il était donc naturel de mettre en commun ces compétences dans le but de développer une théorie des systèmes étendus soumis à une perturbation stochastique. Notre étude s'est concentrée sur un modèle paradigme, susceptible de mettre en évidence les différents comportements attendus pour ce genre de système: synchronisation, métastabilité, hystérésis, compétition entre dynamique locale et couplage.

Le travail Berglund–Fernandez–Gentz [A13] considère la dynamique d'une chaîne circulaire de N sous-systèmes bistables, couplés aux plus proches voisins de manière ferromagnétique, et soumis à des sources de bruit indépendantes. Selon l'intensité du couplage, ce système admet entre 2 et 2^N états métastables. A couplage faible, il se comporte de manière similaire à un modèle d'Ising avec dynamique de Glauber. A couplage fort, d'ordre N^2 , le système se synchronise : Il se comporte alors comme une seule grosse particule de masse N . La transition entre régimes de couplage fort et faible s'opère par une suite de brisures spontanées de symétrie. Ce travail a permis de mettre en évidence différents régimes de paramètres, et de déterminer la dépendance des échelles de temps métastables et des itinéraires de transition typiques des paramètres du système.

L'article Berglund–Fernandez–Gentz [A14] considère le même modèle dans la limite des grands nombres de particules. Quand le couplage est également fort, le système tend à se comporter comme un système continu, décrit par une équation aux dérivées partielles stochastique de type Ginzburg–Landau. Dans ce régime, on a pu déterminer le nombre exact d'états stationnaires du système, leur position dans l'espace de configuration, et le temps de vie métastable des deux états fondamentaux. Un aspect intéressant est que la preuve se base sur la théorie des applications twist du plan, qui a dû être développée dans une nouvelle direction (contrôle exact du nombre d'orbites d'une période donnée dans le cas intégrable perturbé) afin de s'appliquer à ce problème.

Effet de perturbations stochastiques sur des systèmes quantiques

Le travail de thèse en cours de Jean-Philippe Aguilar considère l'effet d'un bruit "classique" sur un système quantique à deux niveaux. Ce problème est considéré comme intermédiaire entre le cas d'un bruit classique agissant sur un système classique, et le cas où le bruit et le système sont tous deux quantiques. Par analogie avec les résultats de [EPRB99], on suppose ici que le bruit se traduit par un terme d'Ornstein–Uhlenbeck dans l'Hamiltonien du système. Cela revient à supposer que le système à deux niveaux est un spin interagissant avec un champ magnétique, créé par un aimant soumis à un potentiel harmonique et à un bruit. Les équations résultantes sont plus proches de celles régissant des systèmes classiques conservatifs que de systèmes dissipatifs tels que ceux mentionnés ci-dessus, et sont donc plus difficiles à étudier.

Jean-Philippe Aguilar est parvenu à déterminer la mesure invariante du système, à démontrer rigoureusement son unicité, et à prouver la convergence vers cette mesure. Ces résultats sont contenus dans l'article [P1].

3.2 Perspectives

Les systèmes d'interactions quantiques répétées offrent de nombreuses possibilités de modèles mathématiquement accessibles de systèmes hors équilibre. Une variation motivée par la physique du One Atom Maser consiste à ajouter au système un mécanisme décrivant les pertes dans la cavité. Un tel modèle est actuellement à l'étude. Un objectif intéressant d'un point de vue plus conceptuel consiste à permettre au système de référence de vivre dans un espace de Hilbert de dimension infinie, dans quelque modèle que ce soit. Bien que physiquement il n'y ait pas d'obstacle de principe à ce que le système de référence soit un oscillateur anharmonique par exemple, l'analyse mathématique fait encore défaut. Nous pensons que la simplicité des systèmes d'interactions quantiques répétées devrait permettre une analyse rigoureuse de ce type de situation.

La suite naturelle de l'article [A19] consiste à étudier des modèles spécifiques et à dégager en particulier les conditions dans lesquelles des manifestations géométriques, traduisant des propriétés d'holonomie analogues des phases de Berry, peuvent être mis en évidence.

L'étude des systèmes classiques étendus soumis à du bruit ne fait que débiter. Le travail entamé dans [A13–A14] est actuellement en cours d'être étendu dans plusieurs directions:

- Etude de situations où la dynamique locale est asymétrique.
- Détermination de l'asymptotique préexponentielle des temps de vie métastables (nécessitant une généralisation des résultats de [BEGK04]).
- Etude de l'équation limite continue.

A moyen terme, il est prévu d'étendre cette étude à des situations inhomogènes dans l'espace, dans lesquelles on s'attend à un transport de chaleur.

Enfin, une extension naturelle des résultats de [P1] serait celle à des systèmes quantiques étendus du type chaîne de spins, également dans le but de mieux comprendre le transport sous l'effet de bruit dans des systèmes étendus.

3.3 Publications

L'activité scientifique liée à l'ACI a donné lieu à la publication de trois monographies, et d'une vingtaine d'articles dans des revues à comité de lecture. Ces publications sont en partie accessibles sur la page web de l'ACI,

<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/berglund/aci>

Livres

- [L1] S. Attal, A. Joye, C.-A. Pillet, Eds, *Open Quantum Systems* (Springer, Lecture Notes in Mathematics 1880-1882, 2006).
- [L2] N. Berglund, B. Gentz, *Noise-Induced Phenomena in Slow-Fast Dynamical Systems. A Sample-Paths Approach* (Springer, Probability and its Applications, 2005).
- [L3] J.-R. Chazottes, B. Fernandez, Eds, *Dynamics of Coupled Map Lattices and of Related Spatially Extended Systems* (Springer, Lecture Notes in Physics 671, 2005).

Prépublications

- [P1] J.-P. Aguilar, N. Berglund, *The effect of classical noise on a quantum two-level system*, soumis (2008), [arXiv:0805.0869](https://arxiv.org/abs/0805.0869).
- [P2] L. Bruneau, A. Joye, M. Merkli, *Infinite Products of Random Matrices and Repeated Interaction Dynamics*, soumis (2007), [arXiv:math/0703675](https://arxiv.org/abs/math/0703675).

Articles dans des revues

- [A01] W.H. Aschbacher, *On the instabilities of static, spherically symmetric $SU(2)$ Einstein-Yang-Mills-Dilaton solitons and black holes*, Phys. Rev. D **73**:024014 (2006).
- [A02] W. Aschbacher, *Non-zero entropy density in the XY chain out of equilibrium*, Lett. Math. Phys. **79**:1–16 (2007).
- [A03] W. Aschbacher, J.-M. Barbaroux, *Out of equilibrium correlations in the XY chain*, Lett. Math. Phys. **77**:11–20 (2006).
- [A04] W.H. Aschbacher, J.-M. Barbaroux, *Exponential decay of spin-spin correlations in translation invariant quasi-free states*, J. Math. Phys **48**:113302 (14 pages) (2007).
- [A05] W.H. Aschbacher, V. Jaksic, Y. Pautrat, C.-A. Pillet, *Transport properties of quasi-free Fermions*, J. Math. Phys. **48**:032101 (28 pages) (2007).
- [A06] W. Aschbacher, H. Spohn, *A remark on the strict positivity of the entropy production*, Lett. Math. Phys. **75**:17–23 (2006).

- [A07] S. Attal, A. Joye, *Weak coupling and continuous limits for repeated quantum interactions*, J. Statist. Phys. **126**:1241–1283 (2007).
- [A08] S. Attal, A. Joye, *The Langevin Equation for a Quantum Heat Bath*, J. Functional Analysis **247**:253–288 (2007).
- [A09] J.-M. Barbaroux, T. Chen, V. Vougalter, S. Vugalter, *On the ground state energy of the translation invariant Pauli-Fierz model*, Proc. Amer. Math. Soc. **136**:1057–1064 (2008).
- [A10] J.-M. Barbaroux, B. Helffer, H. Siedentop, *Remarks on the Mittleman max-min variational method for the electron positron field*, J. Phys. A Math. Gen **39**:85–98 (2006).
- [A11] J.-M. Barbaroux, H. Linde, S. Vugalter, *Quantitative estimates on the enhanced binding for the Pauli-Fierz operator*, J. Math. Phys. **46**:122103 (11 pages) (2005).
- [A12] N. Berglund, B. Gentz, *Universality of first-passage and residence-time distributions in non-adiabatic stochastic resonance*, Europhys. Letters **70**:1–7 (2005).
- [A13] N. Berglund, B. Fernandez, B. Gentz, *Metastability in interacting nonlinear stochastic differential equations I: From weak coupling to synchronisation*, Nonlinearity **20**:2551–2581 (2007).
- [A14] N. Berglund, B. Fernandez, B. Gentz, *Metastability in interacting nonlinear stochastic differential equations II: Large- N behaviour*, Nonlinearity **20**:2583–2614 (2007).
- [A15] L. Bruneau, A. Joye, M. Merkli, *Asymptotics of repeated interaction quantum systems*, J. Functional Analysis **239**:310–344 (2006).
- [A16] J.-R. Chazottes, C. Giardinà, F. Redig, *Relative entropy and waiting times for continuous-time Markov processes*, Electronic J. Probability **11**:1049–1068 (2006).
- [A17] J.-R. Chazottes, F. Redig, *Testing the irreversibility of a Gibbsian process via hitting and return times*, Nonlinearity **18**:2477–2489 (2005).
- [A18] E. Hamza, A. Joye, G. Stolz, *Localization for random unitary operators*, Lett. Math. Phys. **75**:255–272 (2006).
- [A19] A. Joye, *General Adiabatic Evolution with a Gap Condition*, Commun. Math. Phys. **275**:139–162 (2007).

Contributions à des livres

- [C1] W.H. Aschbacher, *On the emptiness formation probability in quasi-free states*, dans F. Germinet, P. Hislop, *Adventures in Mathematical Physics* (Cont. Math. 447, 2007).
- [C2] W. Aschbacher, V. Jaksic, Y. Pautrat, C.-A. Pillet, *Topics in non-equilibrium quantum statistical mechanics*, dans S. Attal, A. Joye, C.-A. Pillet, Eds, *Open Quantum Systems* (Springer, Lecture Notes in Mathematics 1880-1882, 2006).
- [C3] J.-M. Barbaroux, *Some variational principles for relativistic energy functionals*, dans Oberwolfach Reports, *Spectral analysis of Partial Differential Equations*, Eur. Math. Soc. :2839–2912 (2004).

Bibliographie générale

- [AP03] W.H. Aschbacher and C.-A. Pillet, *Non-equilibrium steady states of the XY chain*, J. Stat. Phys. **112** (2003), no. 5–6, 1153–1175.
- [Arn01] Ludwig Arnold, *Hasselmann’s program revisited: the analysis of stochasticity in deterministic climate models*, Stochastic climate models (Chorin, 1999), Progr. Probab., vol. 49, Birkhäuser, Basel, 2001, pp. 141–157.
- [BEGK04] Anton Bovier, Michael Eckhoff, Véronique Gayraud, and Markus Klein, *Metastability in reversible diffusion processes. I. Sharp asymptotics for capacities and exit times*, J. Eur. Math. Soc. (JEMS) **6** (2004), no. 4, 399–424.
- [EPRB99] J.-P. Eckmann, C.-A. Pillet, and L. Rey-Bellet, *Non-equilibrium statistical mechanics of anharmonic chains coupled to two heat baths at different temperatures*, Comm. Math. Phys. **201** (1999), no. 3, 657–697.
- [Kha66] R. Z. Khasminskii, *A limit theorem for solutions of differential equations with random right-hand side*, Teor. Veroyatnost. i Primenen. **11** (1966), 390–406.
- [PA03] Y. Pautrat and S. Attal, *From repeated to continuous quantum interactions – the spontaneous production of quantum noises*, Annales Henri Poincaré, Physique Théorique **7** (2003), 59–104.
- [RBT00] Luc Rey-Bellet and Lawrence E. Thomas, *Asymptotic behavior of thermal nonequilibrium steady states for a driven chain of anharmonic oscillators*, Comm. Math. Phys. **215** (2000), no. 1, 1–24.
- [RBT02] ———, *Exponential convergence to non-equilibrium stationary states in classical statistical mechanics*, Comm. Math. Phys. **225** (2002), no. 2, 305–329.
- [SGO⁺00] A.V. Sologubenko, K. Giannò, H.R. Ott, A. Vietkine, and A. Revcolevschi, *Thermal conductivity and specific heat of the linear chain cuprate Sr₂CuO₃: Evidence for the thermal transport via spinons*, Phys. Rev B **62** (2000).
- [SGO⁺01] ———, *Heat transport by lattice and spin excitations in the spin-chain compounds SrCuO₂, and Sr₂CuO₃*, Phys. Rev B **64** (2001).
- [STM96] K. Saito, S. Takesue, and S. Miyashita, *Thermal conduction in a quantum system*, Phys. Rev E **54** (1996), 2404–2408.