

# Curriculum Vitae

## Eva Löcherbach

---

1	Etat civil	2
2	Formation et Diplômes	3
3	Responsabilités administratives	4
4	Responsabilités éditoriales	4
5	Organisation de conférences et d'autres évènements scientifiques	4
6	Encadrement	6
7	Publications	7
8	Séjours de recherche	10
9	Communications orales	11
10	Activités de recherche	18
11	Projets de recherche	21

# 1 Etat civil

---



**LÖCHERBACH Eva**

3bis, rue Saint Valéry  
95160 Montmorency  
Tél.: 06 15 38 50 98

**Date et lieu de Naissance:** 21 décembre 1970 à Bergisch-Gladbach, Allemagne

**Nationalité:** allemande

**Etablissement actuel:** SAMM

Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne  
90, rue de Tolbiac  
75013 Paris

**Fonction actuelle:** Professeur des Universités (1ère classe) à l'Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne

Titulaire de la PES depuis octobre 2012 et de la PEDR pour la période de 2003 à 2007 et de 2008 à 2012.

## Thèmes de recherche

---

Modèles stochastiques de réseaux de neurones, systèmes de particules en interaction, propagation du chaos, couplage et simulation parfaite, processus de Hawkes, chaînes et champs de Markov d'ordre variable, modèle de Hodgkin-Huxley, diffusions hypo-elliptiques, statistique des processus, théorèmes limites pour des processus de Markov récurrents, méthode de régénération en temps continu, inégalités de déviation, vitesse de convergence à l'équilibre.

## 2 Formation et Diplômes

---

### **2008: Habilitation à diriger les recherches en Mathématiques.**

- Titre : “De l’étude statistique de certains systèmes de particules aux théorèmes limites pour des processus de Markov récurrents”.
- Soutenue et acceptée le 8 décembre 2008 à l’université Paris 12-Val de Marne à Créteil.
- Jury: Nicolas Fournier, Valentine Genon-Catalot, Arnaud Guillin, rapporteur, Reinhard Höpfner, Jean Jacod, rapporteur, Michael Sørensen, rapporteur.

**1999 - 2000: Post-doctorat** au sein du réseau T.M.R. *Stochastic Analysis* à l’Université Pierre et Marie Curie, Paris.

### **1997 - 1999: Thèse de Doctorat en Mathématiques.**

- Titre : “Statistical models and likelihood ratio processes for interacting particle systems with branching and immigration”.
- Soutenue et acceptée avec mention “Mit Auszeichnung” (“Félicitations du jury”) le 18 mars 1999 à Paderborn.
- Directeur de thèse: Prof. Dr. R. Höpfner, Paderborn.
- Jury: K. D. Bierstedt, H. M. Dietz, R. Höpfner (Directeur), Yu. Kutoyants (Rapporteur), M. Specovius-Neugebauer, A. Wakolbinger (Rapporteur).

**28 mai 1997: Diplôme de mathématiques (“Diplom”)** de l’Université de Bonn, responsable Prof. Dr. R. Höpfner, avec mention: “Avec félicitations” (“Mit Auszeichnung”).

## Réseaux de recherche

---

**depuis 2013** Chercheur associé à l’institut Neuromat, USP, Sao Paulo.

**depuis 2011** Membre du Projet MaCLinC (projet mathématiques et neurosciences, Sao Paulo).

**2010/2011** Membre du Projet USP/COFECUB (partenariat entre l’Université de Sao Paulo et le Comité Français d’Evaluations de la Coopération Universitaire avec le Brésil) “Systèmes stochastiques à interactions de portée variable”.

**2008–2012** Membre de l’ANR “MADCOF” (Méthodes aléatoires et déterministes pour des processus de collision, coalescence et fragmentation).

**octobre 2009–février 2010** Professeur invité au laboratoire de probabilités de l’université de Freiburg, Allemagne.

**février 2008–septembre 2008** Délégation au CNRS au sein du laboratoire MAP5, 8145, Université Paris V.

**1997–2003** Membre du réseau européen “Statistical Methods for Dynamical Stochastic Models”.

**1997–2001** Membre du réseau “Interagierende stochastische Systeme von hoher Komplexität” (“Interacting stochastic systems of high complexity”) financé par la Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

### 3 Responsabilités administratives

---

02/2016– 08/2018	membre élu de la Commission de recherche du Conseil Académique de l'université de Cergy-Pontoise (UCP)
09/2015–08/2018	responsable du M2 Mathématiques Appliquées à l'UCP
depuis 01/2015	membre (nommé) du Conseil scientifique de l'INSMI CNRS
09/2012– 09/2015	Directrice du département de mathématiques de l'UCP
09/2012– 08/2018	Membre du Comité de pilotage du Labex MME-DII à Cergy-Pontoise
2010- 2018	membre des comités de sélection de la 26ième section UPMC (PR et MCF), Paris Dauphine, Rennes 1, Paris 13, Dijon, Lille I (PR), Aix-Marseille, Univ. de Lorraine (Nancy) (PR), UPEC (PR et MCF).
2002 – 2010	membre du conseil de gestion de la faculté des Sciences et Technologie de l'Université de Paris 12-Val de Marne
2004 – 2009	membre des commissions de spécialistes de la 26ième section de Paris XII et des 25-26ièmes sections de l'Université de Marne la Vallée

### 4 Responsabilités éditoriales

---

Depuis avril 2018, Associate Editor de SPA (Stoch. Proc. Appl)

### 5 Organisation de conférences et d'autres évènements scientifiques

---

- août 2018 : Membre du comité scientifique des Journées MAS 2018.
- été 2018 : Membre du comité d'organisation du CEMRACS 2018 “Numerical and mathematical modeling for biological and medical applications : deterministic, probabilistic and statistical descriptions.”
- juin 2018 : Membre du comité de programme de la conférence ICMNS à Saint Juan les Pins.
- juin 2018 : Membre du comité d'organisation de la conférence “On non-stationarity” à Cergy-Pontoise.
- décembre 2017 : Organisation de la conférence *Random structures of the brain* au Lorentz Center Leiden.
- juin 2017 : Membre du comité de programme des *49èmes Journées de Statistique* à Avignon.
- septembre 2016 : Organisation de la conférence *From statistical physics to Context tree estimation* à l'université de Cergy-Pontoise (avec Flora Koukiou).
- juillet 2015 : Organisation d'une session invitée *Interacting particle systems* à la conférence *European Meeting of Statisticians 2015* à Amsterdam.

- mai 2015 : Organisation de la conférence *Dependence, Limit Theorems and Applications. Conference in honour of Paul Doukhan* (membre du comité scientifique et du comité d'organisation) à l'Institut Henri Poincaré.
- décembre 2014 : Organisation de la conférence *Long memory and statistical mechanics* à l'université de Paris-Est Créteil (avec Arnaud Le Ny).
- décembre 2013 : Organisation de la conférence *Long memory processes in probability, statistical mechanics, and applications to neuroscience* à l'université de Cergy-Pontoise.
- décembre 2012 : Organisation du colloque *Probabilistic models of the brain* à l'université de Cergy-Pontoise.
- juin 2012 : Organisation de la conférence Dynstoch (membre du comité scientifique) à l'Institut Henri Poincaré.
- mars 2012 : Responsable de la session "Statistiques des processus et série chronologiques" des German Probability and Stochastic Days, Mainz.
- janvier 2011 : organisation d'une journée thématique *Processus stochastiques en temps long et théorèmes limites* à Cergy.
- août 2008 : organisation de la session *Méthodes régénératives et applications aux statistiques*, Journées MAS, Rennes.

## Jurys, rapports

- Rapporteur d'articles pour les revues *Stochastic Processes and Applications, Probability Theory and Related Fields, Journal of Statistical Physics, Brazilian Journal of Probability and Statistics, Scandinavian Journal of Statistics, Statistical Inference for Stochastic Processes, Electronic Communications in Probability, ACAP*
- Rapporteur de projets pour l'Agence Nationale de la Recherche (ANR)
- Rapporteur des thèses de doctorat de Mathias Hammer (Mainz), de Guillaume Poly (ENPC), d'Adelaide Olivier (Paris-Dauphine), de Florian Bouguet (Rennes 1), de Blaindine Dubarry (Rennes 1), de Luisa Andreis (Padova), de Manon Baudel (Orléans), de Simon Holbach (Mainz) et de HDR d'Aurélien Garivier (Orsay) et de Pierre-André Zitt (Paris-Est Marne la Vallée).
- Membre des jurys de thèse de Ngoc Khue Tran (Paris 13), de Xiaoyin Li (Cergy), de Victor Rabiet (Paris-Est Val de Marne), de Guilherme Ost et Aline Duarte (USP, Sao Paulo), de Julien Chevallier (Nice), d'Antoine Ledent (Luxembourg), de José Gomez (Cergy), d'Ulysse Herbach (Lyon 1), Paulien Jeunesse (Dauphine).
- Membre des jurys de HDR d'Emmanuelle Clément (Marne la Vallée), de Peggy Cénac (Dijon), de Thierry Gobron (Cergy-Pontoise), de Pierre-Yves Louis (Poitiers), de Tristan Guillaume (Cergy-Pontoise), Julien Randon-Furling (Paris 1).

## 6 Encadrement

---

### Direction d'étudiants

---

Depuis septembre 2018 : Co-encadrement de la thèse de Xavier Erny (avec D. Loukianova, Evry), sur le thème de “Limites de grande échelle de systèmes de processus de Hawkes en interactions”.

Depuis septembre 2017 : Co-encadrement de la thèse d'Anna Melnykova (avec A. Samson, Grenoble), sur le thème de “Statistics for hypo-elliptic diffusions arising in neuronal models”.

Depuis septembre 2016 : Co-encadrement de la thèse de Mads Bonde Raad (avec S. Ditlevsen, Copenhague), sur le thème de ”Processus de Hawkes, interactions en champ moyen”.

2016/2017 : Encadrement de Julien Chevallier sur une bourse postdoctorale.

2015/2016 : Encadrement des deux postdocs Aline Duarte et Guilherme Ost, sur le thème de “Processus stochastiques en neurosciences”.

Encadrement de la thèse de Pierre Hodara, sur le thème de “Processus de particules en interactions avec une infinité de composantes à mémoire d'ordre variable”, thèse soutenue en septembre 2016.

Co-Encadrement de la thèse de Victor Rabiet (avec V. Bally, UPEM Marne la Vallée), thèse soutenue en juin 2015.

Plusieurs Travaux d'Etude et de la Recherche (TER, en M1 Mathématiques) à l'Université de Paris 12, sur les thèmes des processus de branchement, du mélange des cartes, des chaînes de Markov, des processus auto-regressifs, des statistiques descriptives, et encadrement de mémoire de M1 à Cergy sur le thème des processus ponctuels, de l'estimation dans des modèles Poissoniens et des processus de branchement avec immigration.

### Cours avancés

---

*Modeling interacting networks of neurons as processes with variable length.* Sommerschool Mathematical Neuroscience juin 2017, Bornholm, et Winterschool Neurosciences décembre 2017, Toulouse.

*Modeling spike trains by systems of interacting Hawkes processes with (or without?) memory of variable length.* Cours donné à l'université de Napoli Federico II, décembre 2016.

*Stochastic models in neurosciences - stochastic calculus and longtime behavior.* Cours donné au GSSI, L'Aquila, novembre 2013.

*Ergodicity and speed of convergence to equilibrium for diffusion processes.* Cours donné à Neuchâtel, juin 2013.

*Ergodicity and speed of convergence to equilibrium for diffusion processes.* Cours donné à la Ritsumeikan University, Kyoto, Japon, en septembre 2012.

### Cours magistraux

---

## à Paris 1

Cours M2 Mathématiques, Analysis of financial time series using Hawkes processes (18h)

## à Cergy

Cours M2 Mathématiques, Probabilités avancées (36h)

Cours M2 Mathématiques appliquées, Analyse stochastique (36h)

Cours M2 Mathématiques appliquées, Processus de Lévy et applications en finance (18 h)

Cours M1 Mathématiques, Systèmes dynamiques (36 h)

Cours M1 Mathématiques, Introductions au mouvement Brownien (18h)

Cours M1 Mathématiques, Processus à sauts (18h)

Cours L3 Mathématiques, Statistiques (36h)

Cours L3 Mathématiques, Probabilités et Statistiques (42 h)

## à Créteil

Cours M1 Mathématiques, Processus stochastiques et applications en finance (9 h)

Cours M1 Mathématiques, Statistiques (18 h)

Cours M1 “Bioressources”, Statistiques et modélisation mathématique (20 h)

Cours L3 Mathématiques, Probabilités (36 h)

Cours L3 Sciences de l'ingénieur, Probabilités et distributions (30 h)

Cours/TD Licence 1 Mathématiques, Arithmétique et groupes (72 h)

Cours Licence 2 Mathématiques, Probabilités discrètes (36 h)

## à Freiburg

Cours L3 Mathématiques, Théorie de la mesure et probabilités (42 h)

Cours M1 Mathématiques, Chaînes de Markov : Couplage et régénération (28 h)

---

# 7 Publications

## Thèse et Habilitation

1. Löcherbach, E.: Statistical models and likelihood ratio processes for interacting particles systems with branching and immigration. Université de Paderborn, mars 1999.
2. Löcherbach, E.: De l'étude statistique de certains systèmes de particules aux théorèmes limites pour des processus de Markov récurrents. Université Paris Est, Créteil, décembre 2008.

## Articles dans des revues internationales avec comité de lecture

1. Höpfner, R., Löcherbach, E.(1998): Birth and death on a flow: local time and estimation of a position-dependent death rate. *Statist. Inf. Stoch. Proc.* **1**, 225-243.
2. Höpfner, R., Löcherbach, E.(1999): Statistical models for birth and death on a flow: local absolute continuity and likelihood ratio processes. *Scand. J. Statist.* **26**, 107-128.

3. Höpfner, R., Löcherbach, E.(1999): Local asymptotic normality for birth and death on a flow. *Stoch. Proc. Appl.* **83**, 61-77.
4. Löcherbach, E.(2000): Likelihood ratio processes and asymptotic statistics for systems of interacting diffusions with branching and immigration. Dans: Gardy, D. et Mokkadem, A. (eds.), *Mathematics and computer science: algorithms, trees, combinatorics and probabilities*, pages 265-274. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
5. Löcherbach, E.(2002): Likelihood ratio processes for Markovian particle systems with killing and jumps. *Statist. Inf. Stoch. Proc.* **5**, 153-177.
6. Löcherbach, E.(2002): LAN and LAMN for systems of interacting diffusions with branching and immigration. *Ann. I. H. Poincaré* **38**, **1**, 59-90.
7. Höpfner, R., Hoffmann, M., Löcherbach, E.(2002): Nonparametric estimation of the death rate in branching diffusions. *Scand. J. Statist.* **29**, 665–692, 2002.
8. Höpfner, R., Löcherbach, E.(2003): Limit theorems for null-recurrent Markov processes. *Memoirs AMS* **161**, Number 768, 2003.
9. Löcherbach, E.(2004): Smoothness of the intensity measure density for interacting branching diffusions with immigrations. *J. Func. Analysis* **215**, 130-177, 2004.
10. Höpfner, R., Löcherbach, E.(2005): Remarks on ergodicity and invariant occupation measure in branching diffusions with immigration. *Ann. I. H. Poincaré PR* **41**, 1025-1047, 2005.
11. Löcherbach, E., Loukianova, D.(2008): On Nummelin Splitting for continuous time Harris recurrent Markov processes and application to kernel estimation for multidimensional diffusions. *Stoch. Proc. Appl.* **118**, No. 8, 1301–1321, 2008.
12. Fournier, N., Löcherbach, E.(2009): Stochastic coalescence with homogeneous-like interaction rates, *Stoch. Proc. Appl.* **119**, 45–71, 2009.
13. Galves, A., Löcherbach, E.(2008): Stochastic chains with memory of variable length. *Festschrift in honour of the 75th birthday of Jorma Rissanen*, 2008.
14. Löcherbach, E., Loukianova, D.(2009): The law of iterated logarithm for additive functionals and martingale additive functionals of Harris recurrent Markov processes, *Stoch. Proc. Appl.*, **119**, 2312–2335, 2009.
15. Galves, A., Löcherbach, E., Orlandi, E.(2010): Perfect simulation of infinite range Gibbs measures and coupling with their finite range approximations. *J. Statistical Physics* **138**, 476-495 (2010).
16. Löcherbach, E., Loukianova, D., Loukianov, D.(2011): Penalized nonparametric drift estimation in a continuous time one-dimensional diffusion process. *ESAIM : P&S*, **15**, 197–216, 2011.
17. Löcherbach, E., Loukianova, D., Loukianov, D.(2011): Polynomial bounds in the Ergodic Theorem for positive recurrent one-dimensional diffusions and integrability of hitting times. *Annales de l’IHP*, **47**, 425–449, 2011.



18. Löcherbach, E., Orlandi, E. (2011): Neighborhood radius estimation in Variable-neighborhood random fields. *Stoch. Proc. Appl.* **121**, 2151–2185 (2011).
19. Löcherbach, E., Loukianova, D. (2011): Deviation inequalities for centered additive functionals of recurrent Harris processes having general state space. *J. Theor. Probab.* **25**, 231–261 (2012).
20. Cassandro, M., Galves, A., Löcherbach, E. (2012): Partially observed Markov random fields are variable neighborhood random fields. *J. Stat. Physics* **147**, No 4, 795–807 (2012).
21. Löcherbach, E., Loukianova, D. (2013): Polynomial deviation bounds for recurrent Harris processes having general state space. *ESAIM : P&S* **17**, 195–218, 2013.
22. Galves, A., Garcia, N.L., Löcherbach, E., Orlandi, E. (2013): Kalikow-type decomposition for multicolor infinite range particle systems. *Annals of Applied Probability* **23**, No 4, 1629–1659 (2013).
23. Galves, A., Löcherbach, E. (2013): Infinite systems of interacting chains with memory of variable length - a stochastic model for neuronal nets. *J. Stat. Physics.* **151**, No 5, 896–921 (2013).
24. Löcherbach, E., Loukianova, D., Loukianov, O. (2014): Spectral condition, hitting times and Nash inequality. *Annales de l’IHP* **50**, No. 4, 1213–1230 (2014).
25. De Masi, A., Galves, A., Löcherbach, E., Presutti, A. (2015): Hydrodynamical limit for a system of interacting neurons. *J. Stat. Phys.* **158** (2015), 866–902.
26. Höpfner, R., Löcherbach, E., Thielen, M. (2016): Ergodicity for a stochastic Hodgkin-Huxley model driven by Ornstein-Uhlenbeck type input. *Annales de l’IHP* **52**, No. 1, 483–501 (2016).
27. Galves, A., Löcherbach, E. (2016): Modelling networks of spiking neurons as interacting processes with memory of variable length. *Journal de la Société Française de Statistiques* **157**, 17–32 (2016).
28. Fournier, N., Löcherbach, E. (2016): A toy model of interacting neurons. *Annales de l’IHP* **52**, 1844–1876, 2016.
29. Höpfner, R., Löcherbach, E., Thielen, M. (2016): Ergodicity and limit theorems for degenerate diffusions with time periodic drift. Application to a stochastic Hodgkin-Huxley model. *ESAIM P & S.* **20**, 527–554, 2016.
30. Hodara, P., Krell, N., Löcherbach, E. (2016): Non-parametric estimation of the spiking rate in systems of interacting neurons. *Statist. Inf. Stoch. Proc.*, doi:10.1007/s11203-016-9150-4.
31. Cessac, B., Le Ny, A., Löcherbach, E. (2017): On the mathematical consequences of binning rasters. *Neural Computation* **29**, 146-170, 2017.

32. Höpfner, R., Löcherbach, E., Thieulen, M. (2017): Strongly degenerate time inhomogeneous SDEs: densities and support properties. Application to a Hodgkin-Huxley system with periodic input. *Bernoulli* **23**, 2587–2616.
33. Hodara, P., Löcherbach, E. (2017): Hawkes processes with variable length memory and an infinite number of components. *Adv. Appl. Probab.* **49**, 84–107, 2017.
34. Löcherbach, E., Rabet, V. (2017): Ergodicity for multidimensional jump diffusions with position dependent jump rate. *Annales de l’IHP* **53**, No 3, 1136–1163, 2017.
35. Ditlevsen, S., Löcherbach, E. (2017): Multi-class oscillating systems of interacting neurons. *Stoch. Proc. Appl.* **127**, 1840–1869.
36. Löcherbach, E. (2017): Absolute continuity of the invariant measure in Piecewise Deterministic Markov Processes having degenerate jumps. To appear in *Stoch. Proc. Appl.*
37. Cassandro, M., Galves, A., Löcherbach, E. (2017): Information transmission and criticality in the contact process. *J. Stat. Phys.* **168**, 1180–1190, 2017.
38. Löcherbach, E. (2017): Large deviations for oscillating systems of interacting Hawkes processes in a mean field frame. To appear in *J. Theor. Probab.*
39. Duarte, A., Galves, A., Löcherbach, E., Ost, G. (2016): Estimating the interaction graph of stochastic neural dynamics. *Accepté à Bernoulli*.
40. Chevallier, J., Duarte, A., Löcherbach, E., Ost, G. (2017): Mean field limits for nonlinear spatially extended Hawkes processes with exponential memory kernels. *Accepté à SPA*.
41. P.A. Ferrari, A. Galves, I. Grigorescu, E. Löcherbach (2018): Phase transition for infinite systems of spiking neurons. *J. Stat. Phys.* **172**, 1564–1575, 2018.

### Chapitres de livres, Conference proceedings

42. Löcherbach, E. (2018), Spiking neurons: interacting Hawkes processes, mean field limits and oscillations. *ESAIM: PROCEEDINGS AND SURVEYS* **60**, 90–103.
43. P. Hodara, N. Krell, E. Löcherbach, Regularity of the invariant measure. Application to the non-parametric Estimation of the Jump Rate, In : *Statistical Inference for Piecewise-Deterministic Markov Processes*.

### Autres publications

44. Duarte, A., Löcherbach, E., Ost, G. (2017): Stability, convergence to equilibrium and simulation of non-linear Hawkes Processes with memory kernels given by the sum of Erlang kernels. *Soumis*.
45. Löcherbach, E. (2017) : Convergence to equilibrium for time inhomogeneous jump diffusions with state dependent jump intensity. *Soumis*.
46. Bonde Raad, M., Ditlevsen, S., Löcherbach, E. (2018): Age dependent Hawkes processes. *Soumis*.

## 8 Séjours de recherche

---

- Université Federico II de Naples, en décembre 2016, invitée par Enrica Pirrozi.
- University of Copenhagen, Danemark, en juillet et décembre 2014, en mai 2015 invitée par Susanne Ditlevsen.
- Institut du Gran Sasso, L'Aquila, Italie, en novembre 2013, en juillet 2016, en mai 2017 et en décembre 2018, invitée par Errico Presutti.
- Université de L'Aquila, Italie, en juillet 2013, invitée par Anna de Masi.
- Université de Neuchâtel, Suisse, en juin 2013 et en juin 2015, invitée par Michel Benaim.
- Ritsumeikan University, Kyoto, Japon, en septembre 2012, invitée par Arturo Kohatsu-Higa.
- Université de Sao Paulo, Brésil, en novembre 2007, janvier 2008, juin 2011, avril 2012, juin 2013, septembre 2014, juillet 2015, novembre 2016, octobre 2017 invitée par Antonio Galves.
- Université de Roma Tre, en avril 2009, septembre 2009, avril 2010, octobre 2010, invitée par Enza Orlandi.
- Université de Bonn, en juillet 2009, invitée par Anton Bovier.
- Université de Copenhague, en juin 2009, invitée par Michael Sørensen.
- CIMAT, Guanajuato, Mexique, trois semaines en septembre 2004, invitée par José Alfredo Lopez-Mimbela.
- Université de Mainz, Allemagne, plusieurs fois, invitée par Reinhard Höpfner.
- Université du Maine, Le Mans, une semaine en novembre 1998, invitée par Yuri Kutoyants.

## 9 Communications orales

---

### Conférences plénières en congrès internationaux

11th European Conference on Mathematical and Theoretical Biology (ECMTB 2018), Lisbonne, juillet 2018.

Löcherbach, E., Spiking neurons : interacting processes with memory of variable or infinite length, Journées MAS, Grenoble, août 2016.

### Conférences invitées en congrès internationaux

Löcherbach, E., On Oscillations In Multi-class Systems of Interacting Non-linear Hawkes Processes, SPA, Gothenburg, mai 2018.

Löcherbach, E., Hawkes processes modeling systems of interacting neurons, Conférence “Random Structures in Neuroscience and Biology”, Herrsching, Munich, mars 2018.

Löcherbach, E., Multi-class oscillating systems of interacting neurons, Workshop “Mean-field Approaches to the Dynamics of Neuronal Networks”, EITN, Paris, janvier 2018.

Löcherbach, E., Absolute continuity of the invariant measure in systems of interacting neurons, Conférence “PDMPs, Theory and applications”, Seillac, France, mai 2017.

Löcherbach, E., Memory and hypoellipticity in neuronal models. “Brain dynamics and Statistics: Simulation versus Data”, Banff, février 2017.

Löcherbach, E., Absolute continuity of the invariant measure of systems of interacting neurons. “13th Workshop on Stochastic Models, Statistics and Their Applications”, Berlin, février 2017.

Löcherbach, E., On interacting systems of oscillating Hawkes processes, Conference “Dynamics and hydrodynamic limits in statistical mechanics”, Rome, janvier 2017.

Löcherbach, E., On interacting systems of oscillating Hawkes processes, Conference “Transformations in Statistical Mechanics: Pathologies and Remedies”, Leiden, octobre 2016.

Löcherbach, E., From Variable neighborhood random fields to the estimation of interaction graphs, Rencontres de Probabilités, Rouen, septembre 2016.

Löcherbach, E., Estimating the interaction graph of stochastic neural dynamics, Conference in honor of Yury Kutoyant’s 70<sup>th</sup> birthday, Le Mans, septembre 2016.

Löcherbach, E., On interacting systems of oscillating Hawkes processes, Eighth Workshop on Random Dynamical Systems, Bielefeld, novembre 2015.

Löcherbach, E., On oscillating systems of interacting neurons, MathStatNeuro workshop, Nice, septembre 2015.

Löcherbach, E., What makes a neuron spike - The Stochastic Hodgkin-Huxley process, periodic Harris recurrence and first steps towards statistical analysis, 60th World Statistics Congress - ISI2015, Rio de Janeiro, juillet 2015.

Löcherbach, E., Hydrodynamical limit for systems of interacting neurons, SPA, Buenos Aires, juillet 2014.

Löcherbach, E., Infinite systems of interacting chains with memory of variable length - a stochastic model for neuronal nets. First conference of Neuromat, Sao Paulo, janvier 2014.

Löcherbach, E., Infinite systems of interacting chains with memory of variable length - a stochastic model for neuronal nets. Ecole d’hiver de probabilités, Mécanique statistiques des systèmes dynamiques et désordonnés, Cirm, février 2013.

Löcherbach, E., Neighborhood radius estimation for Variable neighborhood random fields. Workshop on Chains and Systems with Interactions of Variable Range, Brésil, juillet 2011.

Löcherbach, E., Polynomial bounds in the ergodic theorem for one-dimensional diffusions and integrability of hitting times. Choice and Calibration of Models of Natural Phenomena, Berlin, décembre 2009.

Löcherbach, E., On moderate deviations for (null-)recurrent Markov processes and some statistical applications, DYNSTOCH 2009, Berlin, octobre 2009.

Löcherbach, E., Estimation of the branching rate and intensity measure in systems of branching diffusions with immigration, Conférence *20th Mexican Statistical Association Conference*, Guanajuato, Mexique, septembre 2005.

Löcherbach, E., Regularity of the invariant density of branching diffusions with immigration, Colloque *Branching Processes*, Oberwolfach, Allemagne, juillet 2003.

Höpfner, R., Löcherbach, E., A very strange invariant measure, Colloque *Asymptotical Statistics of Stochastic Processes IV*, Le Mans, 2002.

Löcherbach, E., Asymptotic statistics for Markovian particle systems with killing and jumps, Colloque *Mathematische Stochastik*, Oberwolfach, Allemagne, 2000.

### Conférences en congrès internationaux

Löcherbach, E., Propagation of chaos for a system of interacting neurons. Conférence *Eighth Romanian Congress of Mathematicians*, Iasi, juin 2015.

Löcherbach, E., First steps towards statistical analysis in stochastic Hodgkin-Huxley models. Two days meeting of the Danish Society for Theoretical Statistics, Copenhagen, mai 2015.

Löcherbach, E., What makes neurons spike – the stochastic Hodgkin-Huxley model. Workshop *START*, Dresden, septembre 2014.

Löcherbach, E., Propagation of chaos for a system of interacting neurons. Conférence *Mathematical Modeling and Statistical Analysis in Neuroscience*, Copenhagen, juillet 2014.

Löcherbach, E., Ergodicity for strongly degenerate stochastic systems, part I. Workshop *Statistical inference for continuous time stochastic processes*, Dortmund, février 2014.

Löcherbach, E., Infinite systems of interacting chains with memory of variable length - a stochastic model for biological neural nets. Workshop *VLMC Days*, Dijon, mars 2013.

Löcherbach, E., Infinite systems of interacting chains with memory of variable length - a stochastic model for biological neural nets. Workshop *Stochastic Models for the brain*, Cergy, décembre 2012.

Löcherbach, E., Hitting times, spectral condition and Nash inequality. Colloque *Dependence in probability and statistics*, Luminy, avril 2011.

Löcherbach, E., Ergodicity for  $T$ -periodic time inhomogeneous Markov processes. Colloque *Asymptotical Statistics of Stochastic Processes VIII*, Le Mans, 2011.

Löcherbach, E., How to introduce regeneration times for general recurrent Markov processes in continuous time and some applications, *9ème Colloque Franco-Roumain de Mathématiques Appliquées*, Brasov, Roumanie, septembre 2008.

Löcherbach, E., Nummelin splitting for continuous time Harris recurrent Markov processes and applications. Colloque *DYNSTOCH*, Padoue, Italie, juin 2008.

Fournier, N., Löcherbach, E., Stochastic coalescence with homogeneous like kernels. Colloque *International Multidisciplinary Workshop on Stochastic Modeling*, Sevilla, juin 2007.

Fournier, N., Löcherbach, E., Stochastic coalescence with homogeneous like kernels. Colloque *Journées MAS*, Lille, France, septembre 2006.

Fournier, N., Löcherbach, E., Stochastic coalescence with homogeneous interaction rates. Colloque *Frankfurter Stochastik-Tage*, Frankfurt, Allemagne, 2006.

Löcherbach, E., Regularity of the intensity measure of interacting branching diffusions with immigrations. Colloque *Karlsruher Stochastik-Tage*, Karlsruhe, Allemagne, 2004.

Löcherbach, E., On the invariant density for interacting branching diffusions. Colloque *Wechselwirkende Stochastische Prozesse*, Cologne, Allemagne, 2003.

Löcherbach, E., On the invariant density of branching diffusions, Colloque *Statistical models for Dynamical Stochastic Models*, Carthagène, Espagne, 2002.

Bally, V., Löcherbach, E., On the invariant density of branching diffusions, Colloque *Interagierende stochastische Systeme von hoher Komplexität*, WIAS, Berlin, Allemagne, 2002.

Löcherbach, E., Likelihood ratio processes for Markovian particle systems with killing and jumps and some applications to branching diffusions with interactions and immigrations, Colloque *Hamburger Stochastik-Tage*, Hamburg, Allemagne, 2000.

### **Autres communications**

Löcherbach, E., Modeling interacting networks as processes with variable (or infinite?) length of memory. Rencontre EDP/Probab, Paris, octobre 2018.

Löcherbach, E., Transmission d'information et "criticalité" dans le processus de contact. Première conférence du GDR Mamovi, Lyon, septembre 2017.

Löcherbach, E., On oscillating systems of interacting neurons. Séminaire de probabilités, Université de Poitiers, juin 2017.

Löcherbach, E., Sur l'estimation non-paramétrique du taux de spike pour des systèmes de neurones en interactions. Workshop "Statistique pour les processus de Markov déterministes par morceaux", Nancy, février 2017.

Löcherbach, E., Sur l'estimation du graphe d'interactions d'un système de neurones en interactions. Séminaire de probabilités, Université de Versailles, novembre 2016.

Löcherbach, E., On oscillating systems of interacting neurons. Séminaire de probabilités, Université de Montpellier, décembre 2015.

Löcherbach, E., Systèmes oscillatoires de neurones en interactions. Rencontre de deux jours de l'ANR PIECE, Tours, novembre 2015.

Löcherbach, E., Propagation of chaos for a (simple) system of interacting neurons, Séminaire de probabilités, Universität Münster, janvier 2015.

Löcherbach, E., Que peut-on apprendre de l'observation d'un unique neurone ? Journée de rentrée "Petits Théorèmes et Big Data" du LPMA, UPMC, septembre 2014.

Löcherbach, E., Propagation du chaos pour un système de neurones en interactions. Séminaire de probabilités, LMPA, UPMC, juin 2014.

Löcherbach, E., Limite hydrodynamique pour un système de neurones en interactions. Séminaire de probabilités, université Paris-Ouest, janvier 2014.

Löcherbach, E., Ergodicity for the stochastic Hodgkin-Huxley model - a probabilistic model for the evolution of the membrane potential of a single neuron. Séminaire de probabilités, Numec, USP, Sao Paulo, juin 2013.

Löcherbach, E., Stochastic Hodgkin-Huxley processes modeling neuronal membrane potentials. Séminaire de probabilités, université d'Evry, février 2013.

Löcherbach, E., Temps d'atteinte, condition spectrale et inégalité de Nash. Séminaire de probabilités, université Paris 13, janvier 2012.

Löcherbach, E., Temps d'atteinte et vitesse de convergence à l'équilibre. Séminaire de probabilités, LPMA, université Paris VI, mai 2011.

Löcherbach, E., Temps d'atteinte, régénération et vitesse de convergence à l'équilibre. Séminaire de probabilités de l'université de Neuchâtel, décembre 2010.

Löcherbach, E., Comment utiliser la méthode de régénération pour l'estimation non-paramétrique de la dérive d'une diffusion uni-dimensionnelle. Séminaire de Statistiques de l'IRMAR, Université de Rennes, mars 2010.

Löcherbach, E., Vom Jungbrunnen zur Regeneration : Nummelin-Splitting für Harris-rekurrente Markovprozesse in stetiger Zeit und Grenzwertsätze für additive Funktionale. Universität Freiburg, Kolloquium, janvier 2010.

Löcherbach, E., Regeneration und perfektes Simulieren von Teilchensystemen mit unendlicher Interaktionsreichweite. Universität Freiburg, séminaire de probabilités, octobre 2009.

Löcherbach, E., Perfect simulation for particle systems having interactions of infinite range. Universität Bonn, juillet 2009.

Löcherbach, E., On context-tree estimation for Gibbs-fields. Séminaire de Probabilités, Université de Copenhague, juin 2009.

Löcherbach, E., Simulation parfaite pour des systèmes de particules en interaction de portée infinie. Séminaire de Probabilités, Université de Poitiers, avril 2009.

Löcherbach, E., Simulation parfaite pour des systèmes de particules en interaction de portée infinie. Séminaire de Statistiques et Probabilités, Université Paris 13, avril 2009.

Löcherbach, E., Perfect simulation for particle systems having interactions of infinite range. Université Roma Tre, avril 2009.

Löcherbach, E., Sur la simulation parfaite de systèmes de particules avec interactions du type “long range”. Séminaire de Statistiques et Probabilités, Université Lille 1, novembre 2008.

Löcherbach, E., Nummelin-Splitting fuer Harris-rekurrenente Markovprozesse in stetiger Zeit und Gesetze des iterierten Logarithmus fuer additive Funktionale, Kolloquium der Wahrscheinlichkeitstheorie, FU Berlin, mai 2008.

Löcherbach, E., Régénération pour des processus de Markov en temps continu et loi du logarithme itéré pour des fonctionnelles additives. Journée de Probabilités de l’Ecole polytechnique, mai 2008.

Löcherbach, E., Comment introduire des temps de renouvellement pour des processus de Markov récurrents en temps continu et application aux asymptotiques des fonctionnelles additives? Séminaire de Mathématiques Appliquées, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, janvier 2008.

Löcherbach, E., Comment introduire des temps de regeneration pour des processus de Markov récurrents en temps continu et quelques applications aux statistiques. Séminaire Probabilités Statistiques, Université Paris 13, janvier 2008.

Löcherbach, E., Sur des théorèmes limites pour des fonctionnelles additives de processus de Markov récurrents nuls. Séminaire de Probabilités, Université de Nancy, décembre 2007.

Löcherbach, E., On Nummelin’s splitting for continuous time recurrent Markov processes. Séminaire du NUMEC, Université de Sao Paulo, novembre 2007.

Löcherbach, E., Sur le splitting de Nummelin pour des processus de Markov en temps continu. Colloque *Journées de Probabilités*, La Londe les Maures, septembre 2007.

Fournier, N., Löcherbach, E., Coalescence stochastique avec noyau d’interaction homogène. Séminaire de Probabilités et Statistiques du LATP, Université d’Aix-Marseille I, juin 2007.

Löcherbach, E., Loukianova, D., Sur le splitting de Nummelin pour des processus de Markov en temps continu; application à l’estimation à noyau pour des diffusions multidimensionnelles. Séminaire de l’université d’Evry, novembre 2006.

Löcherbach, E., Autour des diffusions avec branchement et immigration: Existence d’une mesure invariante et étude de la mesure d’intensité. Colloquium de l’université de Paris V, Paris, mars 2006.



Löcherbach, E., Autour de la mesure d'intensité de diffusions avec branchements et immigrations. Séminaire "Calcul Stochastique", Université de Strasbourg I, Strasbourg, janvier 2005.

Löcherbach, E., Sur quelques problèmes statistiques liés à des diffusions avec branchements et immigrations. Séminaire du SAMOS, Université Paris I, mars 2004.

Löcherbach, E., Sur la mesure d'intensité de diffusions en interaction avec branchement et immigrations. Séminaire de modèles stochastiques, Ecole Polytechnique, octobre 2003.

Löcherbach, E., Sur la mesure d'intensité de diffusions avec branchements et immigrations. Colloque *Journées de probabilités*, Toulouse, France, septembre 2003.

Löcherbach, E., Sur la mesure invariante de diffusions avec branchements et immigrations. Séminaire *Probabilités-Statistiques*, Université Paris 13, Villetaneuse, juin 2003.

Löcherbach, E., Sur la densité invariante d'un système de diffusions avec branchement et immigration. Groupe de travail Modal'X, Université de Paris X, Paris, 2003.

Löcherbach, E., Mesures invariantes des diffusions avec branchement. Séminaire "Processus Stochastiques et Statistique", Rennes, 2003.

Bally, V., Löcherbach, E., Sur la densité invariante de diffusions avec branchement, groupe de travail *Méthodes stochastiques et finance*, Université de Marne la Vallée, 2001.

Höpfner, R., Löcherbach, E., Récurrence de Harris, théorèmes limites pour les processus de Markov récurrent-nuls, groupe de travail *Probabilités numériques, statistiques des processus*, laboratoire de Probabilités et Modèles aléatoires, Universités Paris VI et VII, 2001.

Höpfner, R., Löcherbach, E., Théorèmes limites pour les processus de Markov récurrents-nuls, séminaire de l'Université de Paris 13, 2000.

Höpfner, R., Hoffmann, M., Löcherbach, E., L'estimation non-paramétrique du taux de mort dans un système de diffusions avec branchement et immigration, séminaire de Probabilités, Statistique et Théorie Ergodique de l'Université d'Amiens, 2000.

Löcherbach, E., LAN et LAMN pour des systèmes de particules en interaction avec diffusion, branchement et immigration, groupe de travail *Méthodes stochastiques et finance*, Université de Marne la Vallée, 2000.

Höpfner, R., Hoffmann, M., Löcherbach, E., Estimateurs à noyau pour le taux de mort d'un système de diffusions avec branchement et immigration, séminaire du Laboratoire de Mathématiques de l'Université de Rouen, 2000.

Höpfner, R., Hoffmann, M., Löcherbach, E., Sur l'estimation du taux de mort dans un système de diffusions avec branchement et immigration, groupe de travail *Probabilités numériques, statistiques des processus*, laboratoire de Probabilités et Modèles aléatoires, Universités Paris VI et VII, 2000.

Löcherbach, E., Likelihood ratio processes and asymptotic statistics for systems of interacting diffusions with branching and immigration, Colloque *Informatique et Mathématiques: Algorithmes, Arbres, Combinatoire, Probabilités*, Versailles, France, 2000.

Höpfner, R., Löcherbach, E., Nummelin's splitting method in continuous time and its application to limit theorems for recurrent Markov processes, Colloque *Journées de probabilités*, Luminy, France, 2000.

Höpfner, R., Hoffmann, M., Löcherbach, E., Estimating the branching rate of a branching diffusion, Colloque *Mathematical Statistics and Applications: Statistical Learning, Mathematical Genetics and Pollution Data*, Garchy, France, 2000.

## 10 Activités de recherche

---

*Les chiffres donnés ci-dessous se reportent aux numéros dans la liste des publications.*

Mes activités de recherche sont organisées autour des thèmes privilégiés suivants:

1. statistiques des processus, diffusions avec branchements et immigrations, PDMP, étude de la mesure invariante
2. théorèmes limites pour les processus de Markov récurrents (nuls), méthode de scission de Nummelin en temps continu, inégalités de déviation, équivalent déterministe, vitesse de convergence à l'équilibre
3. systèmes de particules en interaction, portée d'interaction infinie, méthodes de couplage, simulation parfaite, chaînes et champs de Markov à mémoire de longueur variable
4. modèles probabilistes en neuroscience, modèle de Hodgkin-Huxley, processus de Hawkes avec une infinité de composantes en interaction, propagation du chaos pour des systèmes de neurones en interactions, systèmes à plusieurs classes

### **Statistiques des processus, diffusions avec branchements et immigrations, PDPM, mesure invariante**

Dans ma thèse, portant sur un sujet des *statistiques des processus*, j'ai établi la propriété LAN et LAMN pour des systèmes finis de diffusions avec branchement et immigrations, observés en temps continu, sous des hypothèses adéquates sur l'ergodicité du processus. Ce travail a connu une continuation naturelle dans une collaboration avec Marc Hoffmann et Reinhard Höpfner durant mon année de Postdoc, portant sur l'estimation non-paramétrique du taux de branchement dans de tels systèmes de particules (voir [7]). Nous y utilisons un estimateur à noyau du type Nadaraya-Watson. La performance de cet estimateur dépend fortement de la régularité de la mesure invariante (voire de la mesure d'intensité associée). Ainsi, dans [9] et [10] j'ai étudié la structure et la régularité de la mesure d'intensité associée à la mesure invariante d'un système fini de diffusions avec branchements et immigrations. Plus précisément, dans [10], nous considérons le cas où les particules évoluent indépendamment les unes des autres. Nous donnons une condition nécessaire et suffisante pour obtenir l'ergodicité "forte" du processus

(ergodicité plus existence de la mesure d'intensité) dans un cadre où le branchement n'est pas uniformément sous-critique. Dans [9], j'étudie le cas où les particules sont soumises à des interactions. Il faut alors faire appel aux techniques du *calcul de Malliavin* pour obtenir la régularité de la densité de la mesure d'intensité du processus. Finalement, ces derniers temps je me suis à nouveau intéressé à des systèmes de particules cette fois-ci sans branchement, mais avec des sauts, qui sont des processus de Markov déterministes par morceaux et qui apparaissent comme modèles naturels pour décrire des systèmes de neurones en interactions. Ces processus déterministes par morceaux, les PDMP, engendrent très peu de bruit suite à l'absence de toute composante diffusive. J'ai étudié dans [36] la régularité de la mesure invariante dans un cas particulièrement dégénérée lorsque le noyau de transition du PDMP n'engendre pas de densité par rapport à la mesure de Lebesgue et, pire encore, en détruit partiellement. En effet, dans ce processus, la particule qui performe un saut est remise à un niveau 0 et perd donc toute densité. Ce travail trouve ensuite une application statistique dans [30], dédié à l'estimation non-paramétrique du taux de saut dans de tels processus.

### **Théorèmes limites**

Suite au travail de ma thèse, je me suis intéressée aux théorèmes limites pour des processus de Markov récurrents dans le sens de Harris, dans un cadre assez général. Ce sujet était au coeur de mes activités pendant longtemps. Nous avons notamment rédigé, avec Reinhard Höpfner, un travail sur la convergence de martingales fonctionnelles additives d'un processus de Markov récurrent nul, en établissant des critères nécessaires et suffisants pour avoir une telle convergence. Ces critères reprennent un vieux résultat dû à Darling-Kac (voir [8]), mais ils sont maintenant formulés en termes du comportement de la résolvante du processus près de 0. En continuation de ce travail, une collaboration fructueuse avec Dasha Loukianova, en associant plus tard aussi Oleg Loukianov, a donné lieu aux articles [11], [14], [16], [17], [19] et [21]. Tous ces articles portent sur la vitesse de convergence à l'équilibre, dans un sens à préciser.

Nous avons en particulier montré dans [11] que pour tout processus récurrent dans le sens de Harris (qu'il soit récurrent nul ou positif) il existe une vitesse déterministe d'explosion valide pour toutes les fonctionnelles additives intégrables et d'intégrale non nulle. Ce résultat est fondamental pour la mise en place de procédures statistiques et le développement de théorèmes limites (qui ont été établies dans la suite de ce premier travail, voir [14], [16], [17]). Dans la même thématique, dans [24] un lien important entre intégrabilité polynomiale de certains temps d'atteinte et une inégalité fonctionnelle, celle dite de "Nash", a été établie.

Un travail récent ([34], voir aussi [42]) revient sur cette thématique, cette fois-ci dans le cadre des PDMP ou encore des diffusions avec sauts ayant un taux de saut qui dépend de la position. On y utilise le bruit engendré par certains *grands sauts* pour démontrer l'ergodicité sans imposer une condition de non-dégénérescence sur la matrice de diffusion.

Finalement, ces derniers temps je m'intéresse aussi à la stabilité et la convergence à l'équilibre dans un cadre non Markovien, plus particulièrement pour des processus de Hawkes non-linéaires, éventuellement avec "âge" (voir [41], et aussi dans un travail en cours avec Mads Bonde Raad).

### **Systemes à portée d'interaction longue et processus à mémoire variable**

J'ai été naturellement amené à m'intéresser aux systèmes de particules et aux processus dont la portée d'interactions ou la mémoire est d'ordre infini et/ou variable. Les articles [13], [15], [18], [20], [22] et aussi [23] et [33] portent tous plus ou moins sur ce sujet. Une des ques-

tions récurrentes est celle de l'existence et de la construction (par exemple en établissant un algorithme de *simulation parfaite*) d'un tel processus.

La technique de couplage dite “décomposition du type Kalikow” utilisée dans [15] dans une collaboration avec Enza Orlandi et Antonio Galves représente un outil puissant qui est la clé de l'étude de la mesure invariante de systèmes de particules en interactions de portée infinie et même de systèmes hautement complexes non-Markoviens, les réseaux de neurones, les processus de Hawkes avec une infinité de composantes et d'autres. Cette technique permet l'étude de propriétés importantes de la mesure invariante comme la décorrélation spatiale, le mélange etc dans des situations où une approche classique ne s'applique plus. Nous avons appliqué cette idée en particulier dans [23] où nous montrons l'existence d'un algorithme de simulation parfaite pour un processus de Hawkes en temps discret avec une infinité de composantes placées sur un graphe, sous une condition adéquate sur le graphe des interactions.

Citons finalement un travail en collaboration avec Enza Orlandi (voir [18]) qui étend la notion des chaînes de Markov d'ordre variable aux champs de Gibbs et met en place une procédure d'estimation pour estimer le support des contextes. Cet estimateur est une généralisation de l'estimateur *Contexte* dû à Rissanen. Il s'agit d'un premier travail qui généralise cette importante notion aux processus spatiaux qui ouvre la voie à des études théoriques portant sur les notions des champs “faiblement” ou “quasi” Gibbs. La procédure d'estimation présentée dans [18] se généralise à d'autres cadres aussi; nous l'avons notamment appliqué pour estimer le graphe d'interactions dans un réseau de neurones dans un travail récent en collaboration avec A. Duarte, A. Galves et G. Ost ([39]).

### **Modèles probabilistes en neuro-sciences**

Depuis environ dix ans, je m'intéresse à la modélisation probabiliste de réseaux de neurones en interactions. En collaboration avec Antonio Galves nous présentons dans [23] un nouveau modèle pour des systèmes de neurones. Il s'agit d'un système infini de chaînes non-markoviennes en interactions pour lequel nous montrons l'existence et l'unicité ainsi que quelques résultats sur la décorrélation des *interspike intervals*. Suite à ce travail, dans une collaboration avec Anna De Masi, Antonio Galves et Errico Presutti, nous étudions dans [25] la limite hydrodynamique de tels systèmes lorsque l'interaction est du type champ moyen. Nous démontrons la convergence de la loi empirique du processus vers une limite déterministe qui est solution d'une équation à dérivées partielles non-linéaire, faisant intervenir la loi du processus. Ce travail a trouvé une continuation naturelle dans une collaboration avec Nicolas Fournier ([28]) dans laquelle nous améliorions les résultats obtenus auparavant (en particulier, nous n'avons plus besoin de supposer que la condition initiale est à support compact, et nous obtenons une vitesse de convergence en  $1/\sqrt{N}$ , où  $N$  désigne le nombre de neurones). Une récente collaboration avec Susanne Ditlevsen ([35]) est proche de cette thématique : nous y étudions un système constitué de plusieurs classes de processus de Hawkes non-linéaires en interaction. Ce système possède la propriété dite de *multi-chaoticité* dans le sens de Carl Graham. La structure sous-jacente aux processus de Hawkes permet d'étudier le système dynamique limite (lorsque  $N \rightarrow \infty$ ) et de montrer que dans certains cas, le système limite présente des oscillations, c'est-à-dire, des orbites périodiques, alors que la dynamique du système de départ ne comporte pas de périodicité. Autrement dit, les interactions entre particules induisent, dans une limite de grande population, un comportement périodique collectif qui n'était pas présent dans la dynamique individuelle. Ce résultat est accompagné, dans l'article [38], par un principe de grandes déviations obtenu pour la mesure invariante de la diffusion (dégénérée, mais hypo-elliptique) qui approche l'intensité

du processus d'origine.

D'autre part, j'ai également commencé à m'intéresser à des modèles du type *diffusions* pour modéliser le comportement d'un seul neurone. Dans [26], [29] et [32], en collaboration avec Reinhard Höpfner et Michèle Thieullen, nous nous intéressons au modèle de Hodgkin-Huxley soumis à un stimulus aléatoire qui est périodique en temps. Ce processus, en dimension 5, est très dégénéré puisqu'il transporte le bruit Brownien seulement dans deux coordonnées. En plus, il n'est pas homogène en temps (suite à la périodicité du stimulus sous-jacent). Dans [29], nous avons étudié les densités de transition du modèle, en utilisant le calcul de Malliavin, sous une condition de Hörmander locale. Nous avons ensuite démontré l'unique ergodicité pour un modèle à coefficients analytiques (par exemple, lorsque le signal est transporté par un processus du type Ornstein-Uhlenbeck), en utilisant des résultats classiques de l'analyse sur les systèmes de contrôle qui sont dus à Sussmann. Ceci ouvre la voie à la mise en place de procédures statistiques visant par exemple à estimer la *périodicité intrinsèque* du modèle. Finalement, dans [32] nous démontrons également des théorèmes limites.

## 11 Projets de recherche

---

*Processus de Hawkes avec une infinité de composantes, PDMP, comportement collectif périodique, oscillations, comportement en temps long*

Dans Ditlevsen et Löcherbach (2017), [35], nous étudions un système de particules constitué de plusieurs classes de processus de Hawkes en interactions. Le système possède la propriété dite de *multi-chaoticité* dans le sens de Carl Graham (Graham 2008). Dans certains cas, le système limite présente des oscillations, c'est-à-dire, des orbites périodiques, alors que la dynamique du système de départ ne comporte pas de périodicité. Autrement dit, dans une limite grande échelle, les différentes classes de particules se comportent comme des entités indépendantes qui rentrent dans un cycle d'oscillations.

Sous des conditions adéquates sur le noyau de mémoire, le système de particules de départ peut être décrit à l'aide d'un système de *Processus de Markov déterministes par morceaux (PDMP)* en grande dimension - la dimension du processus étant liée à la structure de mémoire du processus de Hawkes. Notre but est d'étudier le comportement en temps long de ce PDMP. En particulier nous nous proposons d'étudier sa mesure invariante dans une limite de grande population pour démontrer des phénomènes du type *grandes déviations et comportement métastable*. Autrement dit, nous nous intéressons à une étude "à la Freidlin-Wentzell", quoi que dans un cadre non-diffusif. Si pour l'approximation diffusive, le comportement est bien connu (voir [38]), l'étude des PDMP semble bien plus difficile (manque de bruit Brownien, théorème de support à établir, ...).

Une deuxième piste de recherche que nous envisageons dans ce contexte est l'étude de systèmes de neurones en interactions du type champs moyen, lorsque chaque neurone individuel est décrit par une diffusion de Hodgkin-Huxley. Si le passage à la limite semble classique, la question du comportement en temps long du système limite est loin de l'être. Deux questions principales se posent dans ce contexte. Premièrement, est-ce que le fait d'avoir rajouté du bruit et des interactions induit un comportement périodique qui n'était pas présent dans le modèle

individuel de base? Deuxièmement, au contraire, si les particules individuelles se trouvent dans un régime oscillatoire, est-ce que ce régime persiste après avoir rajouté du bruit et des interactions?

### *Transitions de phase et transmission d'information dans des systèmes de neurones en interactions*

Beaucoup d'articles récents dans la littérature neuroscientifique sont consacrés aux phénomènes de transition de phase et à la question si la "transmission d'information" (une notion qui est à définir rigoureusement) se fait de la manière la plus efficace près du point critique du système. On parle dans ce contexte aussi de l'hypothèse du "cerveau critique" ("critical brain hypothesis"). Ces articles sont tous basés sur des études numériques et aucune approche mathématique rigoureuse n'a été proposée. Nous avons fait un premier pas dans cette direction avec un travail en collaboration avec M. Cassandro et A. Galves dans le cadre du processus de contact classique (voir [37]). Nous montrons en particulier que notre mesure de transmission d'information (qui est rigoureusement introduite et calculable dans ce cadre grâce à la notion de dualité) n'est pas maximale au point critique, mais bien au delà, dans le régime sur-critique. Nous venons juste de terminer un travail qui montre que pour une version particulière du modèle introduit dans [23], il existe bien un phénomène de transition de phase aussi. Un prochain pas sera d'étudier la transmission d'information dans ce modèle ainsi que des phénomènes de métastabilité dans des modèles finis.

### *Autres perspectives*

L'approximation diffusive dans des systèmes de particules constitués de plusieurs classes de processus de Hawkes en interaction décrits plus haut fait intervenir une diffusion fortement dégénérée qui ne porte le bruit Brownien que dans quelques coordonnées. Estimer – de manière paramétrique ou non-paramétrique – dans un tel modèle revient donc à affronter des problèmes d'estimation dans des classes de diffusions hypo-elliptiques. Je compte collaborer avec Adeline Leclercq-Samson (Grenoble) et Patricia Reynaud-Bouret (Nice) sur ce sujet.

D'autre part, nous avons le projet de continuer notre collaboration fructueuse avec M. Thiullen (UPMC) et R. Höpfner (Mainz, Allemagne) portant sur l'étude du modèle de Hodgkin-Huxley stochastique. Le modèle de Hodgkin-Huxley déterministe modélise le comportement d'émission de *spikes* (décharges électriques) pour beaucoup de types de neurones. Nous considérons un tel modèle avec un stimulus extérieur périodique aléatoire représentant l'information synaptique. D'un point de vue mathématique ceci mène à l'étude d'une diffusion en dimension 5 qui est fortement dégénérée et pour laquelle seulement la condition de Hörmander faible est satisfaite, et ceci seulement localement. Nous avons néanmoins réussi à établir l'ergodicité du processus nous permettant de plus d'obtenir des théorèmes limites (par exemple un théorème de Glivenko-Cantelli). La suite de notre collaboration sera consacrée à l'étude statistique de tels processus. Nous nous intéresserons surtout à l'estimation de la périodicité inconnue d'un signal encodé dans le stimulus aléatoire extérieur.

*Statistiques pour des limites en champ moyen de systèmes de particules* J'ai récemment discuté avec Marc Hoffmann (Paris Dauphine) de l'idée de mettre en place des procédures d'estimation non-paramétrique (par exemple de la fonction taux de saut) dans des systèmes de particules en interactions type champ moyen dans une limite de grande population (et sur un intervalle de temps borné). Marc a fait un premier travail dans un modèle structuré en âge. Il est tentant d'étendre cette étude à un cadre plus général qui reprendrait le travail commencé avec N. Fournier dans [28]. Il faudrait notamment établir des inégalités de déviation du système

de particules du processus limite, uniformément par rapport à la classe des fonctions taux sous-jacents.