

Curriculum Vitae

Christian REICHERT

Konrad-Adenauer-Straße 43
69221 Dossenheim (Allemagne)

Tél. : (+49) (0)6221 337636

E-mail : christian.reichert@iwr.uni-heidelberg.de

Nationalité : allemande

Date de naissance : 19 septembre 1972

Lieu de naissance : Germersheim (Allemagne)

Situation familiale : vie maritale, un enfant

Formation et situation administrative

- depuis 02/2006** Chercheur post-doctorant dans le groupe d'Analyse Appliquée de Pr. Willi Jäger à l'Université de Heidelberg (Allemagne).
- 03/2001–2/2006** Thèse de doctorat en mathématiques à l'Université de Heidelberg sous la direction de Pr. Willi Jäger, mention 'magna cum laude' (très honorable). Bourse de la *Deutsche Forschungsgemeinschaft* dans le cadre du Graduiertenkolleg de l'IWR (centre interdisciplinaire de calcul scientifique de l'Université de Heidelberg) de 03/2001–02/2004, bourse de recherche de l'Université de Heidelberg de 03/2004–1/2006.
- 11/2000–02/2001** Stage de recherche dans le Sonderforschungsbereich (Groupement de Recherche) 359 *Écoulements réactifs, diffusion et transport* à l'IWR.
- 10/1993–09/2000** Études en physique et en mathématiques à l'Université de Heidelberg. Diplôme (Diplôme d'Études Approfondies) en physique, mention 'sehr gut' (très bien).
- 07/1992–06/1993** Service militaire à Bad Bergzabern (Allemagne).
- 06/1992** Abitur (Baccalauréat) au Goethe-Gymnasium Germersheim, note 12.5/15.

Thèse

Titre : *Deterministic and stochastic modelling of a catalytic surface reaction*

Soutenue à Heidelberg, le 4 octobre 2006

<http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/6948>

Examineurs : Pr. Willi Jäger (directeur de thèse et rapporteur)

Priv.-Doz. Dr. Karl Oelschläger (rapporteur)

Pr. Friedrich Tomi (représentant des mathématiques pures)

Résumé

La motivation principale de ce travail vient de l'observation de la formation – déterministe ou due aux fluctuations internes – de motifs spatio-temporels pendant l'oxydation catalytique du monoxyde de carbone sur la surface d'un cristal parfait de platine. L'oxydation du CO sur une surface de platine est certainement la réaction surfacique la plus étudiée dans son genre. En dehors de son importance pour le traitement des gaz d'échappement, elle sert aussi d'exemple standard, en physique et chimie, pour un système très éloigné de l'équilibre thermodynamique, car on peut y observer de nombreux phénomènes non-linéaires.

La thèse est divisée en 4 chapitres dont le premier est consacré à la modélisation et le dernier aux simulations, tandis que les deux autres chapitres traitent l'analyse mathématique du modèle. Dans le chapitre 1, nous décrivons d'abord les expériences fondamentales sur l'oxydation du CO sur une surface de platine et donnons un aperçu des motifs observés à partir des pressions basses ($\lesssim 10^{-4}$ mbar) jusqu'aux pressions intermédiaires ($\approx 10^{-2}$ mbar) dans la phase gazeuse au-dessus de la surface (voire Fig. 1). Notre intérêt se porte principalement sur la surface de platine qui correspond au plan du cristal parfait avec index de Miller (110), les surfaces avec indices (100) et (111) ne sont traitées que brièvement.

Pour comprendre à la fois, et l'aspect déterministe et l'aspect aléatoire des phénomènes observés, nous introduisons un modèle (macroscopique) EDP ainsi qu'un modèle de particules stochastique à une échelle mésoscopique, chacun incluant une variable pour la température surfacique. Ensuite, une analyse numérique des bifurcations du modèle macroscopique avec température fixée est effectuée, qui révèle une bonne correspondance du modèle avec les expériences. Les effets de la chaleur sont considérés plus spécifiquement dans le chapitre 4. Notre modèle améliore le modèle (isothermal) pour le Pt(110) présenté par Krischer et al.

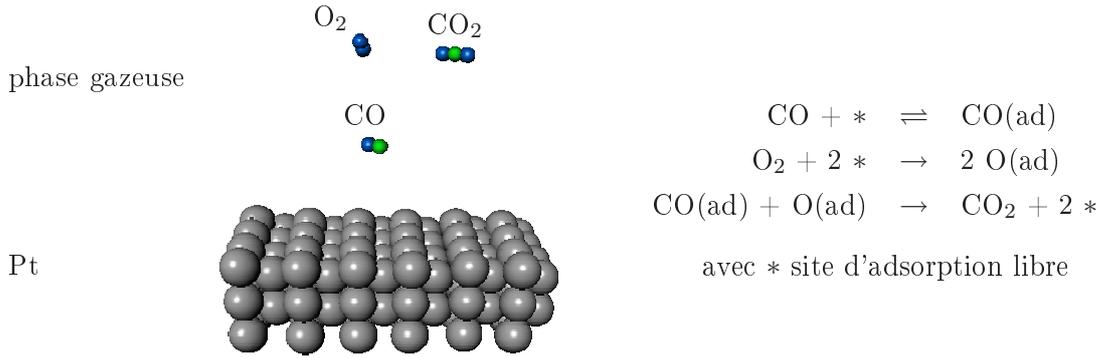


FIG. 1 – Mécanisme de l'oxydation de CO sur platine.

(1992) de la façon suivante : le terme pour l'adsorption de l'oxygène est modifié, ce qui correspond mieux aux résultats expérimentaux à haute pression ; de plus, nous utilisons un ansatz différent pour la cinétique de la transition de phase structurale à la surface. Ainsi, notre modèle s'adapte très facilement aux autres surfaces de platine en changeant seulement certains paramètres. Ce travail est une continuation de ma thèse de diplôme (Reichert, 2000) et de l'article (Reichert et al., 2001), où nous nous étions concentrés sur le cas isothermale et spatialement homogène.

La mise en place de deux modèles différents, un modèle EDP déterministe et un modèle de particules stochastique, soulève la question de la consistance de ces deux modèles. Nous traitons cette question dans les chapitres 2 et 3 où la relation entre certains modèles EDP et des modèles de particules stochastiques correspondants est mise en évidence. En effet, nous prouvons que la densité de particules converge vers la solution d'une EDP dans la limite d'un grand nombre de particules.

Les modèles stochastiques considérés sont essentiellement une combinaison du modèle de Ehrenfest pour la diffusion à travers une membrane et du modèle stochastique standard pour des réactions chimiques dans un milieu spatialement homogène (van Kampen, 1992). Ainsi, un réacteur chimique est considéré comme un assemblage de cellules ou compartiments de longueur l . Chaque cellule peut contenir jusqu'à n particules de chaque espèce chimique. Les particules se déplacent de façon aléatoire d'une cellule à l'une de ses voisines avec intensité de saut d . De plus, si l'on note $\mathbf{u}_l(z, t) = (u_{l,1}(z, t), \dots, u_{l,n_s}(z, t))$ (avec n_s le nombre total d'espèces chimiques) le vecteur des densités de particules dans la cellule z au temps t (i.e., $u_{l,j}$ est le nombre de particules de l'espèce j , divisé par n), alors les nombres de particules dans la cellule z peuvent changer selon la stœchiométrie de n_r réactions chimiques qui ont lieu de façon aléatoire avec intensité $n K_i(\mathbf{u}_l(z, t))$, $i = 1, \dots, n_r$.

Des modèles de particules stochastiques de ce type ont été développés et analysés dans la littérature physique (Nicolis & Prigogine, 1977; van Kampen, 1992) et mathématique (Kurtz,

1981; Ethier & Kurtz, 1986; Arnold & Theodosopulu, 1980; Kotelenez, 1986, 1988; Blount, 1991, 1993, 1994; Guiaş, 2002). Les méthodes pour prouver une loi des grands nombres pour de tels modèles sont étroitement liées aux techniques de résolution des EDP limites. Pour distinguer l'approche que nous avons développée de celle de Kotelenez, commune aux références précédentes, commençons par discuter brièvement le cas où l'EDP limite s'écrit sous la forme d'une équation de réaction-diffusion scalaire

$$\partial_t u - \Delta u = f(u) \quad (1)$$

sur un domaine borné $G \subset \mathbb{R}^m$ avec un bord suffisamment régulier et une condition au bord de type Dirichlet homogène. La fonction f est une combinaison linéaire des taux de réaction K_i avec les coefficients stoïchiométriques.

Pour résoudre cette équation avec la méthode des semi-groupes, on définit d'abord $S(t) = e^{t\Delta}$, le semi-groupe sur $L^2(G)$ généré par le Laplacien (avec condition de Dirichlet). Une solution régulière de (1) vérifie aussi (par variation de la constante)

$$u(t) = S(t)u(0) + \int_0^t S(t-s)f(u(s)) ds. \quad (2)$$

Or toute fonction $u : [0, T] \rightarrow L^2(G)$ qui satisfait l'équation (2) est appelée solution 'mild' de (1).

Dans l'approche variationnelle, on multiplie (1) avec une fonction test v et on intègre sur le domaine G . Après une intégration par partie, on observe qu'une solution régulière satisfait aussi

$$\frac{d}{dt}(u(t), v)_{L^2(G)} + a(u(t), v) = (f(u(t)), v)_{L^2(G)} \quad \forall v \in H_0^1(G), \quad (3)$$

avec $a(\cdot, \cdot)$ forme bilinéaire sur $H_0^1(G) \times H_0^1(G)$ définie par

$$a(u, v) = (\nabla u, \nabla v)_{(L^2(G))^m}. \quad (4)$$

Une fonction $u \in H^1(0, T; H_0^1(G), L^2(G))$ qui vérifie (3) est appelée solution faible de (1).

Pour les équation semi-linéaires comme (1), et la méthode des semi-groupes et l'approche variationnelle sont performantes. Néanmoins, on peut dire que l'approche variationnelle est plus confortable quand il s'agit d'équations quasi-linéaires, par exemple des équations qui font intervenir un opérateur de diffusion non-linéaire.

Pour relier le processus stochastique qui modélise la dynamique du nombre de particules (on se restreint ici à la discussion du cas avec une seule espèce chimique) dans les différentes cellules et la solution de l'EDP, il faut commencer par une mise à l'échelle du processus stochastique. Nous divisons donc le nombre de particules par n (le nombre maximal de particules par cellule) et définissons une fonction étagée u_l sur une grille \mathcal{G}_l dans \mathbb{R}^m correspondante au domaine G où la distance entre deux nœuds est égale à l . (On rappelle que l est la longueur d'une cellule.)

Grâce à la formule de Dynkin, on trouve que cette densité de particules vérifie les équations différentielles stochastiques

$$du_l(z, t) = ((d/2m)l^2 \Delta_l u_l(z, t) + f(u_l(z, t))) dt + dM_l(z, t), \quad z \in \mathcal{G}_l^1. \quad (5)$$

avec Δ_l le Laplacien discrétisé, $M_l(z, \cdot)$ des martingales et \mathcal{G}_l^1 les points intérieurs de \mathcal{G}_l . Cette remarque nous permet d'obtenir de façon heuristique l'EDP limite. Si l'on réduit la longueur l , et si l'on augmente en même temps le nombre maximal n de particules par cellule ainsi que l'intensité de saut d d'une façon appropriée, on s'attend alors à ce que les termes martingales deviennent petits et à ce que les équations stochastiques définies sur la grille \mathcal{G}_l^1 approchent l'EDP (1) définie sur le domaine continu G .

Il y a (au moins) deux façons de vérifier rigoureusement cette intuition qui sont fortement liées aux deux méthodes de résolution de l'EDP limite discutées auparavant. Selon Kotelenz (1986, 1988), on observe (par variation de la constante) que la densité de particules u_l satisfait l'équation

$$u_l(t) = S_l(t)u_l(0) + \int_0^t S_l(t-s)f(u_l(s)) ds + \int_0^t S_l(t-s) dM_l(s). \quad (6)$$

Dans cette formule $S_l(t)$ est le semi-groupe généré par le Laplacien discrétisé, et la deuxième intégrale est une convolution stochastique. On soustrait maintenant l'équation (6) de l'équation (2) et on estime $\|u(t) - u_l(t)\|_{L^2(G)}$, ce qui nous amène à une loi des grands nombres du type

$$P \left[\sup_{t \leq T} \|u(t) - u_l(t)\|_{L^2(G)} \geq \varepsilon \right] \rightarrow 0 \quad (l \rightarrow 0) \quad (7)$$

pour tout $\varepsilon > 0$.

Notre technique, introduite dans les chapitres 2 et 3, est, quant à elle, liée à l'approche variationnelle pour la résolution de l'EDP limite. Nous considérons d'abord le système (déterministe) d'équations différentielles ordinaires

$$\frac{d}{dt}v_l(z, t) - (d/2m)l^2 \Delta_l v_l(z, t) = f(v_l(z, t)), \quad z \in \mathcal{G}_l^1, \quad (8)$$

et nous montrons que la fonction étagée v_l construite avec les $v_l(z, \cdot)$ converge vers la solution u de l'EDP limite (1) dans $L^2(0, T; L^2(G))$. Ensuite, nous montrons que

$$E \int_0^T \|u_l(t) - v_l(t)\|_{L^2(G)}^2 dt \rightarrow 0 \quad (l \rightarrow 0). \quad (9)$$

Donc, nous obtenons une loi des grands nombres du type

$$E \int_0^T \|u(t) - u_l(t)\|_{L^2(G)}^2 dt \rightarrow 0 \quad (l \rightarrow 0). \quad (10)$$

Le point crucial dans la démonstration de (9) réside dans l'utilisation de la formule de Dynkin pour montrer que le processus

$$\begin{aligned} & \|u_l(t) - v_l(t)\|_{\mathcal{L}^2(\mathcal{G}_l)}^2 - \|u_l(0) - v_l(0)\|_{\mathcal{L}^2(\mathcal{G}_l)}^2 \\ & + 2 \int_0^t a_l(u_l(s) - v_l(s), u_l(s) - v_l(s)) ds \\ & - 2 \int_0^t (f(u_l(s)) - f(v_l(s)), u_l(s) - v_l(s))_{\mathcal{L}^2(\mathcal{G}_l)} ds - R_l(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (11)$$

est une martingale locale. Ici, $a_l(\cdot, \cdot)$ est l'analogie discrète de la forme bilinéaire $a(\cdot, \cdot)$, $\mathcal{L}^2(\mathcal{G}_l)$ est un sous-espace de dimension finie de $L^2(G)$ de fonctions étagées et R_l est un reste qui disparaît en passant à la limite. La formule (11) révèle clairement la relation entre le modèle de particules stochastique et la formulation faible (3) de l'équation (1). Des conditions de convergence suffisantes sont

$$l \rightarrow 0, \quad n, d \rightarrow \infty,$$

tel que

$$(d/2m)l^2 \rightarrow 1, \quad d/n \rightarrow 0.$$

Ce sont les mêmes que celles utilisées par Kotelenetz (1988) pour montrer (7).

Les idées décrites ci-dessus sont d'abord développées dans le chapitre 2 pour des modèles linéaires, afin d'éviter les difficultés techniques dues aux non-linéarités. Dans la première partie du chapitre 3, nous traitons des modèles ayant comme limite des systèmes d'équations semi-linéaires comme (1). Dans une deuxième partie, nous discutons deux modèles avec diffusion non-linéaire qui ne peuvent pas être traités avec les méthodes de Kotelenetz (1986, 1988). Pour des raisons de simplicité, nous restreignons la discussion à des modèles avec une espèce chimique en une dimension d'espace, sans réactions chimiques. On s'intéresse d'abord au cas où l'intensité de saut d dépend de la densité de particules, i.e. $d = d(u_l)$ avec $d(\cdot)$ monotone croissante sur \mathbb{R}_0^+ . Nous trouvons que, en notant $D(\cdot)$ la limite de $\frac{1}{2}l^2d(\cdot)$, l'EDP limite est donnée par

$$\partial_t u - \partial_x^2(D(u)u) = 0. \quad (12)$$

Donc, le flux de particules J à l'échelle macroscopique est égal à

$$J = -(D'(u)u + D(u))\partial_x u. \quad (13)$$

Ensuite, nous traitons le cas où l'intensité de saut dépend de la valeur absolue du gradient discret de la densité, i.e. $d = d(|\partial^+ u_l|)$ pour un saut à droite et $d = d(|-\partial^- u_l|)$ pour un saut à gauche. Ici, l'EDP limite est donnée par

$$\partial_t u - D(|\partial_x u|)\partial_x u = 0, \quad (14)$$

avec $D(\cdot)$ la limite de $l^2d(\cdot)$; alors le flux de particules J à l'échelle macroscopique est égal à

$$J = -D(|\partial_x u|)\partial_x u. \quad (15)$$

Le comportement limite des modèles avec diffusion non-linéaire n'a pas encore (à notre connaissance) fait l'objet de recherches dans le contexte des modèles de particules stochastiques décrits ci-dessus. Le cas $d = d(u_l)$ ressemble au processus 'zero-range' dont le comportement limite, après une mise à l'échelle des variables d'espace et de temps, est étudié par exemple dans le livre de Kipnis & Landim (1999).

Enfin, dans la dernière partie du chapitre 3 nous montrons comment on peut obtenir une loi des grand nombres du type (7) à la place de (10).

Finalement, dans le chapitre 4, nous nous tournons vers le problème pratique de la simulation du processus de densité de particules, en particulier pour le processus stochastique modélisant l'oxydation de CO sur une surface de platine. Nous proposons un algorithme qui est utilisé pour la simulation de 'raindrop patterns' qui sont des motifs particuliers dûs au bruit interne.

Travaux en cours

Modélisation du réseau de neurones dans le bulbe olfactif

Depuis la fin de ma thèse, je travaille sur la modélisation du réseau de neurones dans le bulbe olfactif. Chez les vertébrés, ce réseau constitue la première unité de traitement des signaux électriques déclenchés par les molécules odorantes sur les neurones récepteurs. Le but de ce projet est de trouver une description macroscopique pour le réseau du bulbe olfactif en se basant sur un modèle 'microscopique' où chaque neurone est décrit par un modèle de type 'integrate and fire', et où les connections entre les neurones sont établies de façon aléatoire. Pour cela, j'envisage d'utiliser les méthodes de l'homogénéisation stochastique. Ce travail est effectué dans le cadre du groupe interdisciplinaire WIN sur le système olfactif de l'Académie des Sciences de Heidelberg.

Modélisation d'un pot catalytique

Dans ce projet, qui est effectué en tant qu'encadrement de la thèse de doctorat de Séverine Lacharme qui a pour titre 'Contributions to the modelling of a catalytic exhaust gas converter', nous proposons de développer un modèle effectif pour la transformation de gaz nocifs (CO, NO_x, C_xH_y) dans un pot d'échappement catalytique trois voies. La partie principale d'un pot catalytique, ou monolithe, consiste d'un assemblage de tubes creusés dans un matériau céramique dont les parois sont recouvertes d'une couche composée d'alumine et de métaux catalyseurs. Les modèles existants, développés principalement par les ingénieurs en chimie depuis une trentaine d'années, sont des modèles mono-tube. Hors, les échanges de chaleur dans le monolithe catalytique mettent en évidence le besoin d'un modèle multi-tubulaire. Pour palier aux difficultés techniques et numériques qu'engendre un tel modèle, on se propose

d'utiliser une modélisation multi-échelle. Nous déterminons ainsi un modèle microscopique où l'on tient compte des réactions chimiques dans la couche catalytique et du couplage entre les tubes dû à l'échange de chaleur. Nous dérivons ensuite un modèle effectif pour le monolithe complet. Les simulations numériques à partir du modèle dérivé seront comparées avec des résultats expérimentaux.

Références

- Arnold, L. & Theodosopulu, M. (1980), 'Deterministic Limit of the Stochastic Model of Chemical Reactions with Diffusion,' *Advances in Applied Probability*, vol. 12(2), pp. 367–379.
- Blount, D. (1991), 'Comparison of deterministic and stochastic models of a linear chemical reaction with diffusion,' *The Annals of Probability*, vol. 19, pp. 1440–1462.
- Blount, D. (1993), 'Limit theorems for a sequence of reaction-diffusion systems,' *Stochastic Processes and their Applications*, vol. 42, pp. 1–30.
- Blount, D. (1994), 'Density-dependent limits for a nonlinear reaction-diffusion model,' *The Annals of Probability*, vol. 22(4), pp. 2040–2070.
- Ethier, S. N. & Kurtz, T. G. (1986), *Markov Processes : Characterization and Convergence*, Wiley, New York.
- Guiaş, F. (2002), 'Mesoscopic models of reaction-diffusion processes with exclusion mechanism,' in N. Antonic (Ed.), 'Multiscale problems in science and technology,' pp. 161–173, Springer, Berlin.
- Kipnis, C. & Landim, C. (1999), *Scaling limits of interacting particle systems*, Springer, Berlin.
- Kotelenez, P. (1986), 'Law of large numbers and central limit theorem for linear chemical reactions with diffusion,' *The Annals of Probability*, vol. 14(1), pp. 173–193.
- Kotelenez, P. (1988), 'High density limit theorems for nonlinear chemical reactions with diffusion,' *Probability Theory and Related Fields*, vol. 78, pp. 11–37.
- Krischer, K., Eiswirth, M. & Ertl, G. (1992), 'Oscillatory CO oxidation on Pt(110) : Modelling of temporal self-organization,' *Journal of Chemical Physics*, vol. 96(12), pp. 9162–9172.
- Kurtz, T. G. (1981), *Approximation of Population Processes*, SIAM, Philadelphia.
- Nicolis, G. & Prigogine, I. (1977), *Self-organization in Nonequilibrium Systems*, Wiley, New York.
- Reichert, C. (2000), 'Ein mesoskopisches stochastisches Modell für die CO-Oxidation an Platinoberflächen,' Diplomarbeit, Universität Heidelberg.

- Reichert, C., Starke, J. & Eiswirth, M. (2001), 'Stochastic model of CO oxidation on platinum surfaces and deterministic limit,' *Journal of Chemical Physics*, vol. 115(10), pp. 4829 – 4838.
- van Kampen, N. (1992), *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*, Elsevier, Amsterdam, 2nd edn.

Publications

1. C. Reichert, J. Starke, and M. Eiswirth, 'Stochastic model of CO oxidation on platinum surfaces and deterministic limit,' *Journal of Chemical Physics* 115(10) (2001)
2. J. Starke, C. Reichert, M. Eiswirth, H.H. Rotermund, and G. Ertl, 'Fluctuation-induced pattern formation in a surface reaction,' *Europhysics Letters* 73(6) (2006)
3. J. Starke, C. Reichert, M. Eiswirth, and K. Oelschläger, 'Stochastic modelling and deterministic limit of catalytic surface processes,' in W. Jäger et al. (Eds.), 'Reactive Flow, Diffusion and Transport' (2006)
4. C. Reichert, 'Laws of large numbers for mesoscopic stochastic models of reacting and diffusing particles,' soumis
5. C. Reichert, J. Starke, and M. Eiswirth, 'Modelling CO oxidation on Pt at intermediate pressure : thermal and stochastic effects,' en préparation
6. S. Lacharme and C. Reichert, 'Derivation of an effective model for a catalytic exhaust gas converter,' en préparation

Conférences

Participation avec exposé oral

- 2004 • *Fluctuation-induced pattern formation in a surface reaction*, 5. Dresdner Herbstseminar Nichtlineare Physik : Fluidodynamik, Dresden, Allemagne
- 2003 • *Modelling CO oxidation on platinum surfaces : From UHV conditions towards atmospheric pressures*, Dynamics Days Europe, Palma de Mallorca, Espagne
- *Modelling CO oxidation on platinum surfaces : From UHV conditions towards atmospheric pressures*, 8. Herbstseminar *Strukturbildung in Chemie und Biophysik*, Salzwedel, Allemagne
- 2001 • *Stochastic Model of CO oxidation on platinum surfaces and deterministic limit*, First SIAM-EMS Conference *Applied mathematics in our changing world*, Berlin, Allemagne

Participation avec poster

- 2006
 - Summer school on Multiscale Modeling and Applications, Cargèse, France
 - 14th Jerusalem School in Life Sciences *The Sense of Smell*, Jerusalem, Israel
- 2005
 - Oberwolfach meeting *Reactive flow and transport through complex systems*, Oberwolfach, Allemagne
 - *Challenges in Modelling and Applied Analysis*, Conference on the occasion of Willi Jäger's 65th birthday, Heidelberg, Allemagne
- 2004
 - 4. Dresdner Herbstseminar Nichtlineare Physik : Dynamik auf Netzwerken, Dresden, Allemagne
- 2002
 - Dynamics Days Europe, Heidelberg, Allemagne
 - Symposium *Engineering of chemical complexity* au Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin, Allemagne

Autres exposés

- 2004
 - *Stochastic homogenization, Workshop on Homogenization* du Graduiertenkolleg de l'IWR (centre interdisciplinaire de calcul scientifique de l'université de Heidelberg)
- 2003
 - *Stochastic processes in population dynamics, workshop Complex Processes : Approaches to Modelling in Science* à l'ICM (centre de calcul scientifique), Varsovie, Pologne.

En dehors de cela, j'ai régulièrement fait des exposés dans le colloquium annuel du Graduiertenkolleg de l'IWR et dans le séminaire du groupe de Pr. Jäger.

Séjours

- 05/2003 Séjour chez Dr. Angela Stevens au Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften, Leipzig, Allemagne
- 06/2002 Séjour chez Dr. Markus Eiswirth au Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin, Allemagne

Activités d'enseignement

Durant ma formation universitaire, j'ai enseigné plusieurs travaux dirigés (deux heures par semaine) qui accompagnent les cours d'analyse et de probabilités à l'Université de Heidelberg.

- Semestre d'hiver 04/05 : **TD Analyse 3**, cours : W. Jäger
mots clés : intégrale de Lebesgue, sous-variétés différentiables de \mathbb{R}^n , théorème de Gauss, notions de base de l'analyse fonctionnelle (espaces de Banach, convergence forte et faible, ...), espaces L^p , théorème du point fixe de Brouwer, lemme de Lax-Milgram.
- Semestre d'hiver 03/04 : **TD Introduction aux probabilités**, cours : K. Oelschläger
mots clés : espace de probabilité, variables aléatoires discrètes et à densité, probabilité conditionnelle, indépendance, loi faible et loi forte des grands nombres, théorème limite central, méthode de Monte-Carlo, chaînes de Markov en temps discret.
- Semestre d'été 03 : **TD Systèmes dynamiques**, cours : J. Starke
mots clés : solutions explicites, théorèmes de Cauchy-Lipschitz et de Peano, notions de base des systèmes dynamiques (espace d'état, flot, point fixe, stabilité, fonction de Lyapunov, ...), systèmes dynamiques en temps discret, systèmes linéaires en temps continu, théorie locale de systèmes non-linéaires (variété stable, instable et centrale, réduction à la forme normale, ...), théorie globale (notion d'attracteur, solutions périodiques, application de Poincaré, théorème de Poincaré-Bendixson, ...), méthodes numériques, bifurcation de points fixes, bifurcation de Hopf.
- Semestre d'hiver 96/97 : **TD Analyse 1**, cours : W. Beiglböck
mots clés : ensembles, notion d'application, relation d'ordre, nombres réels, éléments de topologie, suites et séries, limites, continuité, point d'accumulation, notion de compacité, théorème de Bolzano-Weierstrass, nombres complexes, séries entières, calcul différentiel, séries de Taylor, intégrale de Riemann.

Divers

Connaissances en informatique

Langages : C++, C, Fortran, Pascal, BASH shell scripting, L^AT_EX

Systemes operationnels : UNIX/Linux, Windows

Applications : Matlab, Maple, AUTO97 (logiciel pour l'analyse de bifurcations),
OpenInventor (bibliothèque graphique), MPI (bibliothèque pour le calcul parallèle)

Développement de logiciel : visualisation de Muqarnas (ornements dans l'architecture arabe), <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/ngg/Muqarnas/>

Langues

- Allemand (langue maternelle)
- Anglais (courant)
- Français (courant)
- Latin

Activités administratives

- Administration de plusieurs ordinateurs Linux du groupe de Pr. Jäger.
- Responsable du matériel informatique pour la conférence Dynamics Days Europe 2002 à Heidelberg.
- Co-organisation du workshop *Complex Processes : Approaches to Modelling in Science* à l'ICM (centre de calcul scientifique) à Varsovie (Pologne) en février 2003.
- Porte-parole des parents d'un groupe de la crèche universitaire.