
PROJET MEVAL

Modélisation et Évaluation des Systèmes Informatiques

Localisation : *Rocquencourt*

Mots-clés : MEVAL, modélisation, file d'attente, réseau, protocole, parallélisme, marche aléatoire, processus stochastique, méthodes analytiques, transition de phase, limite thermodynamique, neurone.

1 Composition de l'équipe

Responsable Scientifique

Guy Fayolle, directeur de recherche, INRIA

Secrétaire

Danièle Moreau, en commun avec le projet VERSO

Personnel INRIA

Marc Badel, ingénieur DAT, mis à disposition de SIMULOG

Christine Fricker, chargée de recherche, en disponibilité jusqu'au 1/10/96

Jean-Marc Lasgouttes, chargé de recherche depuis le 1/10/96

Vadim Malyshev, directeur de recherche

Chercheurs doctorants

Franck Delcoigne, service national jusqu'au 1/8/96, boursier INRIA, Université Paris 6

François Dumontet, boursier INRIA, Université Versailles Saint-Quentin

Stagiaires

Dohy Hong, X-DEA

Collaborateurs extérieurs

Pierre Brémaud, ENSTA et SUPELEC

Roudolf Iasnogorodski, Université d'Orléans

2 Présentation du projet

Le but essentiel du projet est de parvenir à une bonne compréhension du comportement de certains systèmes informatiques et téléinformatiques. Deux moyens d'approche complémentaires sont proposés :

- l'élaboration et la résolution de modèles mathématiques ;

- la simulation.

Les compétences acquises par l'équipe ces dernières années couvrent largement les domaines de la *modélisation probabiliste* et de la *simulation*. Les recherches et applications sont éclectiques et variées : réseaux télématiques, architecture des ordinateurs, parallélisme, physique statistique, réseaux de neurones, logiciel. Les thèmes de travail présentés dans les sections qui suivent comportent à la fois des aspects méthodologiques et des applications particulières. La démarche scientifique est toujours, à partir de problèmes concrets, de proposer des méthodes et outils de portée générale, permettant d'obtenir des résultats quantitatifs sur le rendement, la stabilité ou le contrôle de telle ou telle structure.

3 Actions de recherche

Si on prend l'exemple des systèmes de télécommunications ou de transport, la plupart d'entre eux peuvent être modélisés de façon naturelle et réaliste par un ensemble de stations de service, où les serveurs sont les ressources (logiques ou physiques) du système considéré et où les entités circulant entre les stations représentent les requêtes, messages, programmes partageant ces ressources. La complexité toujours croissante de ces systèmes (distribution, parallélisme, vitesse) a eu plusieurs conséquences importantes :

- une demande de plus en plus forte d'analyse prévisionnelle de performances, afin d'assister les choix de conception et de vérifier le respect de certains objectifs (rendement, fiabilité, etc.) ;
- un impact considérable sur la théorie des réseaux de files d'attente et des grands systèmes, qui vise essentiellement à l'étude de processus aléatoires particuliers mais significatifs (temps de séjour dans un système, nombre de clients ou de messages, régime stationnaire, etc.), sous les hypothèses les plus larges possibles.

Les travaux du projet portent sur la recherche et la mise en oeuvre de méthodes quantitatives d'évaluation. Les principaux outils utilisés sont de nature à la fois analytique et probabiliste : les compétences concernées ont ainsi un spectre assez large. L'évolution des problèmes traités reste toujours guidée par l'apparition d'applications nouvelles. Les recherches sont globalement réparties selon 4 axes principaux, dont l'importance relative varie au fil des temps et qui ont de fortes dépendances mutuelles :

- 1 *Modélisation de réseaux de transport et de télécommunications ;*
- 2 *Systèmes et architectures parallèles ;*
- 3 *Marches aléatoires, réseaux et processus stochastiques ;*
- 4 *Grands systèmes aléatoires.*

Cette année, les activités ont été concentrées sur les points 1, 3 et 4.

3.1 Modèles de réseaux de transport et de télécommunications

3.1.1 Systèmes à *polling*

Les systèmes dits à *polling*, où V serveurs se partagent entre N stations, selon une politique donnée, font toujours l'objet d'une abondante littérature, notamment à cause de leur vaste champ d'applications. Cette année, des percées significatives ont été accomplies, qui concernent les conditions d'existence de régimes stables dans le cas $V > 1$ (jusqu'alors totalement ouvert). En général, le problème est difficile (par suite d'une absence de *monotonie* trajectorielle) et s'insère dans le cadre des chaînes de Markov vectorielles (cf. § 3.2.1). En outre, il est presque toujours impossible de calculer certaines grandeurs intéressantes, telles par exemple les temps d'attente moyens.

Participants : Franck Delcoigne , Guy Fayolle

– Ces travaux entrent dans le cadre d’une collaboration avec le programme PRAXITÈLE (cf. section 4 et RA95), amorcée depuis trois ans. Il s’agissait d’étudier le déplacement de véhicules (bus, taxis) sur un graphe quelconque, évoluant sous certaines contraintes. Les modèles proposés se présentent, en général, comme des systèmes à *polling*, avec routage Markovien dépendant de l’état (présence ou non d’un client à la dernière station visitée) et discipline de service *1-limitée*. On a résolu cette année le cas où les taxis, arrivant à une station vide, sont supposés attendre les clients, qui choisissent leurs destinations selon une certaine matrice de routage. On obtient une classification globale de ce système (sous des hypothèses assez larges sur les séquences d’entrée), en montrant notamment qu’il n’est jamais ergodique. Il n’est récurrent nul que si 3 conditions sont réalisées : $N \leq 3$; le vecteur des intensités d’arrivées aux stations est proportionnel à la mesure invariante de la matrice de routage ; $\lambda\tau < V$, λ désignant l’intensité totale des nouveaux clients et τ le temps moyen de déplacement entre 2 stations quelconques. Sinon le système est transient. On donne en outre une classification précise pour chaque file, ainsi que des lois limites, après changement d’échelle temporelle convenable. Des transitions de phase apparaissent. La démarche proposée [218] s’appuie sur le théorème de la limite centrale et sur un couplage avec un processus de référence, dans lequel les temps de déplacement sont identiquement nuls. Dans l’avenir, on analysera les classes de politiques où les taxis, en l’absence de clients, attendent pendant une durée aléatoire quelconque.

Participant : Christine Fricker

– En collaboration avec R. Jaïbi (Université de Tunis), on obtient des résultats de stabilité pour un système à V serveurs homogènes, avec routage Markovien et politique de service *1-limitée* dépendant de la file. La méthode consiste à étudier un modèle *fluide* associé, technique féconde qui intervient aussi dans l’étude de marches aléatoires dans Z_+^k . Des cas de politiques plus générales, avec serveurs hétérogènes, sont en cours d’étude.

3.1.2 Réseaux de transport

Cet axe est fortement imbriqué avec les sections 3.3 et 4, auxquelles le lecteur pourra se référer. On ne mentionnera ici que le rapport [219], où sont proposés divers modèles stochastiques, en ordre croissant de complexité. Les outils mathématiques mis en jeu mélangent théorie des files d’attente et analyse asymptotique. Les applications visées sont principalement les systèmes de véhicules en libre service (concept PRAXITÈLE), mais les méthodes (liées à la physique statistique) ont une portée générale. On montre notamment l’indépendance asymptotique ($t \rightarrow \infty$) des nœuds en *limite thermodynamique*, c’est à dire lorsque la taille du système augmente.

3.1.3 Réseaux de communications

Participants : Guy Fayolle , Vadim Malyshev

En liaison avec le centre franco-russe A.N. Lyapounov, dont on pourra consulter le rapport d’activité, une série de problèmes ont été étudiés dans [224] :

- influence des pannes sur les caractéristiques essentielles ;
- analyse de situations extrêmes dans les réseaux avec plusieurs niveaux de priorités ;
- résolution complète de réseaux particuliers avec les méthodes de la section 3.2.2

3.2 Marches aléatoires, réseaux et processus stochastiques

Cette section présente, d’une certaine façon, le ciment méthodologique existant entre les recherches menées au sein du projet.

3.2.1 Classification et théorie constructive des chaînes de Markov dans Z_+^N

Participants : Guy Fayolle , Vadim Malyshev

Si les conditions de non explosion ou de non saturation des réseaux ont un intérêt pratique évident, leur caractérisation à l'aide de formules explicites résiste encore souvent à l'analyse, même pour des dimensions faibles ($N = 2$ ou 3). Cependant, il existe une approche très générale pour obtenir les conditions d'ergodicité pour des marches aléatoires fortement homogènes dans Z_+^N ou dans des domaines similaires, qui donne une explication structurelle globale de la situation, en ramenant le problème de l'ergodicité d'une marche à N dimensions à plusieurs problèmes en dimension $N - 1$, par construction de systèmes dynamiques. Ce champ de recherches, vaste et très vivant, constitue l'un des points d'ancrage du projet. Les travaux fondamentaux ont reçu un cadre, avec la parution du livre de Fayolle, Malyshev et Menshikov, où sont consignés des résultats originaux obtenus dans les domaines précités depuis une vingtaine d'années (voir les rapports d'activité antérieurs).

3.2.2 Chaînes aléatoires en interaction

Participant : Vadim Malyshev

Dans l'article de synthèse [227], on présente l'esquisse d'une théorie, assez complexe, pour traiter N files en interaction et comportant plusieurs classes de clients. Comme dans le cas d'une seule classe (il s'agit alors de marches aléatoires dans un orthant), de nombreuses étapes sont nécessaires : changement d'échelle pour la construction du système dynamique associé, étude qualitative de ce système, calculs de ses paramètres, etc. En outre, il y a de nouvelles étapes, non triviales, qui incluent, en particulier, le calcul des mesures invariantes jointes (dans Z_+^k , $k \leq N$) des parties droites des diverses chaînes. Ces trois dernières années, une quinzaine d'articles sont parus, contenant les premières pierres de cette théorie et de nombreux exemples. Ainsi, dans [214], on donne la solution d'un problème sur les cas de récurrence nulle, pour une évolution mono-chaîne.

3.2.3 Stabilité et questions connexes

Participant : Roudolf Iasnogorodski

– Les recherches sur l'intégrabilité de certaines fonctionnelles des temps d'atteinte τ_A d'ensembles compacts A , pour des chaînes de Markov, ont été achevées, en collaboration avec S. Aspandiiarov (Université Paris 6) et M. Menshikov. Ces moments jouent un rôle important dans les théorèmes limites concernant ces chaînes. Dans [212], on obtient des critères généraux d'existence de l'espérance $E\tau_A^p$, pour des processus unidimensionnels à dérivées asymptotiquement nulles. En liaison avec la théorie du mouvement brownien réfléchi, on déduit notamment la valeur critique p_0 maximale, telle que $E\tau_A^p < \infty$, $\forall p < p_0$, lorsque l'espace d'états est Z_+^2 . Dans [210, 211], on étend les critères donnés dans [212] (basés sur des constructions explicites de semi-martingales), afin d'étudier le comportement fin de la queue de la distribution de τ_A et la vitesse de convergence vers la loi stationnaire.

– L'étude [221] est consacrée à l'évolution de marches aléatoires dans le cylindre $Z_+^2 \times Z$, avec dérivées nulles à l'intérieur du domaine et réflexions sur les frontières. Il est montré qu'il y a toujours transience, dans tous les cas non critiques de réflexion aux bords. On s'est intéressé aussi au problème de convergence des marches renormalisées. Il appert que deux situations sont possibles : soit le processus limite est une semimartingale continue; soit il se comporte d'une façon inhabituelle, une des coordonnées tendant vers l'infini presque sûrement, avec une vitesse supérieure à \sqrt{n} . Ces résultats sont obtenus en s'appuyant sur les estimations des mesures invariantes de marches dans Z_+^2 , données dans [220].

3.2.4 Réseaux de neurones

Si la ressemblance entre les réseaux de neurones et les réseaux de télécommunications n'était pas très connue, il existait cependant quelques études pratiques, montrant des liens dans certains cas particuliers. On présente ici des connexions fondées sur des bases mathématiques assez profondes. Le point de départ est le modèle de Hopfield. Malgré les progrès récents concernant l'état stationnaire de ce modèle, l'étude de sa dynamique restait encore mystérieuse, car beaucoup plus délicate. On sait que le réseau de Hopfield est caractérisé par le nombre de nœuds N , qui tend vers l'infini, et le nombre d'images p .

Lorsque $p = 1$, la dynamique est celle d'une marche aléatoire, chaque point étant lié à plus proches voisins et tout est résolu (cf. travaux de Olivieri, Vares, etc.). On a considéré le cas p arbitraire : la dynamique, pour des températures finies, est alors celle d'une marche aléatoire dans l'union de polyèdres, avec discontinuités aux frontières, comme dans les réseaux de communications. Les propriétés temporelles locales et globales ont été abordées via des changements d'échelle, puis analyse des limites fluides obtenues. Le résultat principal [226], obtenu en collaboration avec F. Spieksma (Université de Leiden, Hollande), dit que le temps pour atteindre un point fixe, à température zéro, est borné uniformément en p , avec une probabilité qui tend vers 1 lorsque $p \rightarrow \infty$. On envisage d'étudier la région des températures finies. À cette fin, il faudra trouver les répartitions spatiales des minima locaux d'énergie et les distributions correspondantes.

– Parallèlement, on a poursuivi l'étude des réseaux de neurones rencontrés en biologie, en collaboration avec M. Cottrell (Université Paris I) et avec L'IPPI de Moscou. Plusieurs articles sont en préparation, incluant notamment : la description des attracteurs pour divers types de connexions (asymétriques, aléatoires, d'inhibition et d'excitation, en dimension 2 aux températures basses ou très hautes), ainsi que la structure de Gibbs de tous ces attracteurs.

3.2.5 Contrôle de chaînes de Markov

Participant : Vadim Malyshev

En collaboration avec divers auteurs, on propose une nouvelle classe de problèmes pour le contrôle de décision dans les chaînes de Markov [223]. Le point essentiel est que certaines situations concrètes requièrent un changement d'échelle temporel radicalement différent de ceux habituellement rencontrés. On introduit le concept de *changement d'échelle d'urgence* : quand on est loin de l'état d'équilibre (il y a donc situation critique et risque de catastrophe), il faut trouver le chemin optimal permettant de se rapprocher suffisamment de cet état, la stratégie étant possiblement très différente de celle en vigueur pendant les périodes de calme. La condition "être loin de l'équilibre" s'obtient en dilatant l'état initial : l'échelle de temps cherchée est alors liée au temps d'atteinte d'un voisinage de l'état d'équilibre le plus probable, en supposant qu'on parte de l'état initial dilaté.

Si les approximations fluides existent dans la littérature (comme procédures déterministes ad hoc), c'est peut-être la première fois qu'une preuve de la convergence vers un système fluide est donnée. Les principales techniques mises en jeu sont les changements d'échelle d'Euler (cf. RA95) et les fonctions de Lyapounov. On obtient par exemple des solutions explicites au problème de première atteinte pour des marches aléatoires contrôlées dans le plan, avec applications à des systèmes comportant deux files d'attente.

3.2.6 Méthodes analytiques pour les marches aléatoires en dimension $N \geq 2$

Participants : Guy Fayolle , Roudolf Iasnogorodski , Vadim Malyshev

Les marches aléatoires dans Z_+^N sont naturellement isomorphes à des familles de réseaux comportant N files d'attente. Dans le cas $N = 2$, les méthodes de détermination de mesures invariantes (par réduction à des problèmes aux limites, avec des conditions éventuellement sous forme intégrale) développées dans l'équipe depuis une quinzaine d'années par Fayolle et Iasnogorodski ont été reprises avec fruit dans certains laboratoires étrangers – notamment J.W. Cohen (Utrecht), I. Mitrani (Newcastle)–, et font

l'objet d'études immédiates ou à long terme (Bell Laboratories, IBM Yorktown Heights, Universités du Michigan, d'Ottawa, etc.). Il était inévitable que ces travaux rejoignent ceux de V.A. Malyshev, menés indépendamment en 1970 et précurseurs dans le domaine. Depuis quatre ans, un livre [209] est en cours de rédaction, par les trois auteurs précités. On y propose notamment :

- Une unification des résultats déjà obtenus ;
- La liaison avec la géométrie algébrique.
- Une classification des cas solubles à l'aide de formules explicites ;
- Des conditions nécessaires et suffisantes pour que les solutions soient algébriques ;

L'ouvrage comportera finalement sept chapitres. Les actions suivantes ont été menées cette année.

- Les chapitres 2 et 3 ont été complètement refondus.
- Dans Z_+^2 , pour des sauts d'amplitude 1, le genre g de la surface de Riemann sous-jacente peut prendre des valeurs entières quelconques. Lorsque g est fini, on avait déjà trouvé des conditions nécessaires et suffisantes pour que les fonctions génératrices des mesures invariantes soient algébriques, les solutions étant alors complètement caractérisées (la méthode s'appuie sur le célèbre théorème 90 de factorisation de Hilbert et sur de nouvelles uniformisations au moyen de fonctions elliptiques). Lorsque g a une valeur quelconque, on a mis en relation les conditions d'ergodicité avec l'indice d'un problème de factorisation, puis on a calculé des formes intégrales explicites, mettant en jeu la fonction de Weierstrass.
- Enfin, pour le genre 0 (problème posé sur la sphère de Riemann), on a établi un lien avec les fonctions automorphes.

3.3 Grands systèmes aléatoires

Le but est d'introduire certains outils modernes, adaptés à l'étude des grands systèmes et issus des progrès en mécanique statistique.

3.3.1 Étude asymptotique de grands réseaux fermés

Participants : Guy Fayolle , Jean-Marc Lasgouttes

On considère un réseau fermé de type BCMP comportant M clients et N noeuds. La question est de trouver des fonctions $M = f(N)$, conduisant, lorsque la taille du réseau augmente ($N \rightarrow \infty$), à un bon comportement. La problématique est issue de la modélisation de systèmes de véhicules, (cf. section 4.1). Les méthodes proposées sont probabilistes et font intervenir des formes très générales du théorème limite central. Asymptotiquement il y a indépendance des divers noeuds et deux situations peuvent se produire :

- forme produit totale (aucune file saturée) ;
- certaines files, en nombre peut-être infini, sont saturées (phénomène de *condensation*).

On avait déjà obtenu l'an dernier des estimations (exprimées en fonction des moments) et une forme explicite du changement d'échelle $M = f(N)$ avait été donnée, sous des hypothèses assez larges de fonctionnement des divers noeuds. De nouveaux résultats portant sur le changement d'échelle [213] permettent de définir une classe de fonctions $f(N)$ dites *critiques*, différenciant dans le réseau les zones de *stabilité*, où les files sont toutes uniformément bornées, et les zones de *saturation*, où certaines files se saturent.

Ces résultats sont utilisés par BIGNET [225], logiciel d'aide à l'étalonnage permettant d'évaluer la performance du réseau, comme fonction des différents paramètres le définissant.

On a aussi amorcé l'analyse de réseaux plus généraux, qui est, du point de vue mathématique, beaucoup plus difficile.

3.3.2 Vitesse de convergence

Participant : Christine Fricker

– Dans un travail de collaboration avec D. Tibi (Université Paris VII) et Ph. Robert (Projet ALGO), on développe des techniques permettant de trouver l'ordre de convergence d'une chaîne de Markov vers l'équilibre, lorsque la cardinalité de l'espace d'états est grande. On considère un grand réseau fermé, dans lequel N clients se déplacent parmi M serveurs de la façon suivante : le temps est supposé discret et à chaque instant un serveur est choisi uniformément parmi les serveurs occupés ; un des clients en attente est servi, puis se présente à l'un des serveurs voisins. Lorsque les serveurs sont en ligne, on avait montré précédemment que l'ordre est polynômial en M et N , en comparant différents systèmes et en adaptant certains résultats de J. Quastel sur les réseaux de particules avec exclusion simple. La technique s'applique pour des serveurs en cercle, ce qui permet de traiter aussi le cas de serveurs tous connectés (un client servi est envoyé vers l'un quelconque des $M - 1$ autres serveurs).

– On a également étudié une file $M/M/N/1$ avec perte. Lorsque le taux d'arrivée vaut λN , avec $N \rightarrow \infty$, trois cas sont possibles pour l'ordre de convergence V , si ρ désigne le facteur d'intensité et $\lambda_2(N)$ la valeur propre de plus faible module du générateur associé :

- si $\rho > 1$, $\lambda_2(N) \sim N$;
- si $\rho < 1$, $\lambda_2(N) \rightarrow -1$;
- si $\rho = 1$, $\lambda_2(N) = -2$.

La méthode employée est une variation sur le thème de l'inégalité de Poincaré (cf. Diaconis-Strook).

3.4 Logiciel de réseaux de files d'attente : MODLINE

Participant : Marc Badel

Le logiciel QNAP2, développé initialement de façon conjointe par l'INRIA et BULL, et intégré dans l'environnement MODLINE, est commercialisé par la société SIMULOG, filiale de L'INRIA.

M. Badel assure auprès de SIMULOG un rôle de conseil pour la maintenance, ainsi que pour les spécifications des développements futurs à entreprendre. Cette année, on a commencé à introduire dans le langage des fonctions et procédures utilisateur attachées à des types d'objets, ainsi que la notion de fonctions et procédures virtuelles. Cette approche, inspirée des langages SIMULA67 et C++, fait évoluer peu à peu QNAP2 vers un langage orienté objet. En outre, des contacts et réflexions communes avec le projet MISTRAL/SLOOP ont lieu autour du projet Prosit et devraient aboutir à l'évaluation, puis à l'amélioration ultérieure des logiciels existants.

4 Actions industrielles

4.1 PRAXITÈLE

Le programme PRAXITÈLE a donné lieu en 1993 à un consortium industriel regroupant l'INRIA, l'INRETS, la CGEA, DASSAULT AUTOMATIQUE, EDF et RENAULT. Il s'agit d'étudier et de promouvoir un nouveau mode de transport public, basé sur l'utilisation de petits véhicules urbains, de préférence électriques, dont le parc serait géré par un système informatique s'appuyant sur un réseau de télécommunications.

Une relation contractuelle a été établie avec MEVAL, issue d'une proposition intitulée *Problèmes de modélisation mathématique pour la conception de réseaux de véhicules électriques à usage collectif*. Outre les modèles, les travaux envisagés comportent un chapitre sur la conception de simulations rapides. Cette thématique, vaste et intéressante, inclut également des équipes du centre scientifique franco-russe A.M Lyapounov, créé en 1993. Un programme commun sur les objectifs à moyen terme a

été rédigé par L. Afanassieva (Université de Moscou), G. Fayolle, M. Parent (PRAXITÈLE) et V.A. Malyshev. Les actions suivantes ont été menées cette année.

4.1.1 Simulation

Participant : François Dumontet

Le simulateur précédemment développé (cf. RA95 et [217]) a été utilisé par l'INRETS pour la réalisation de diverses études économiques. Ces travaux, effectués en collaboration avec les équipes de l'INRIA, ont permis d'améliorer l'outil existant. Un indicateur synthétique a été proposé, portant sur la structure de la demande, afin de classer et de comparer les principales configurations des systèmes PRAXITÈLE.

4.1.2 Modélisation mathématique

Participants : Guy Fayolle , Jean-Marc Lasgouttes

- Le modèle pour calculer les pertes de clients potentiels, conçu par G. Fayolle, L. Afanassieva et S. Popov (cf. section 3.1.2) a été résolu [219]. L'approche proposée s'applique à des réseaux de grande taille, sans forme produit mais munis de certaines symétries, les paramètres pouvant dépendre du temps. On estime mathématiquement les erreurs sur les probabilités de rejet précitées. Un programme efficace a été écrit sur IBM-PC par S. Popov.
- Les études [213, 225] ont déjà été évoquées dans les sections 3.1.1 et 3.3.

4.2 DYADE

Participant : MEVAL

Une étude a été amorcée sur la faisabilité d'une action au sein du GIE DYADE, qui porterait sur la modélisation des machines de la game Polykid. Des contacts préliminaires ont eu lieu, réunissant des représentants des équipes de Bull-Echyrolles, MEVAL et DYADE.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Le projet entretient des collaborations avec les centres universitaires suivants :

- Université Paris I (M. Cottrell) ;
- Université d'Orléans (R. Iasnogorodski) ;
- Paris VI, Laboratoire de Probabilités, (J. Jacod) ;
- École Polytechnique (F. Dunlop, J. Neveu) ;
- EHEI, Université Paris V (S. Aspandiiarov, E. Gelenbe) ;
- SUPELEC et ENSTA (P. Brémaud) ;
- ENST (H. Korezlioglu).

5.2 Actions internationales

5.2.1 Centre Franco-Russe

G. Fayolle et V. Malyshev participent aux activités du centre *A.M. Lyapounov*, situé au sein de l'Université de Moscou et officiellement inauguré le 19 Décembre 1993. Ils sont membres du conseil scientifique et co-responsables du Projet 3, intitulé *Modélisation et évaluation de systèmes informatiques. Problèmes probabilistes dans les réseaux*. À l'occasion du 3^{ème} anniversaire du centre, un colloque s'est tenu à Moscou, portant sur l'évaluation des collaborations dans le cadre de l'Institut. Le bilan des activités du Projet 3 a donné lieu au rapport [222].

5.2.2 Comités de programmes et d'édition de revues

V. Malyshev fait partie du comité d'édition des revues russes *Problems of Information Transmission* et *Fundamental and Applied Mathematics* ; il est également fondateur et éditeur en chef du journal *Markov Processes and Related Fields*, G. Fayolle étant membre du comité de rédaction.

5.2.3 Visites de chercheurs et professeurs étrangers

– **Visites de durée supérieure à une semaine :**

- A. Rybko (IPPI), 15 jours ;
- M. Menshikov (Université de Moscou), 15 jours ;
- A.N. Shiryaev (Institut Steklov, Université de Moscou), 15 jours.
- T. Turova (Institut des problèmes mathématiques en biologie, Académie des Sciences de Russie), 1 mois.

– **Visites brèves et conférenciers :** Une dizaine de chercheurs étrangers, notamment avant et après la conférence organisée à l'INRIA, mentionnée dans la section 6.3.

5.2.4 Divers

- G. Fayolle est membre du groupe de travail IFIP WG 7.3.
- G. Fayolle et V. Malyshev sont membres de la *New York Academy of Sciences*.

6 Diffusion des résultats

Les résultats obtenus dans l'équipe ont été diffusés dans les principaux colloques concernant le domaine et ont fait l'objet de conférences et d'invitations dans plusieurs centres de recherche. On ne cite que les éléments principaux.

6.1 Visites de laboratoires

- G. Fayolle a reçu des invitations des universités de Moscou, de Newcastle, ainsi que des *Bell Laboratories* (Murray Hill).
- J.-M. Lasgouttes a visité le *Statistical Laboratory* (Université de Cambridge, UK).
- V. Malyshev a été invité à l'Université de Leiden et au centre E. Schroedinger à Vienne.

6.2 Conférences invitées

- G. Fayolle et R. Iasnogorodski étaient invités au symposium en l'honneur du 90^{ème} anniversaire du Professeur F.D. Gakhov (Minsk, Février 1996).
- V. Malyshev a fait deux exposés sur les réseaux de neurones à l'Université de Bielefeld en Allemagne. Il a été invité aux conférences suivantes :
 - *Annual Conference on Statistical Physics* (Londres, Juin) ;
 - *Disordered Systems* (Berlin, Août) ;
 - *Dobrushin's memorial Conference*, Institut E. Schroedinger (Vienne, Sept.) ;
 - *Journées SMAI-MAS* (Toulouse, Sept.) ;
 - *Artificial Intelligence and Computer Science*, (MGU and Academy of Technology, Moscou, Sept.).

6.3 Organisation de colloques

- G. Fayolle était membre du comité scientifique la conférence *DCCN'96, Theory and Applications*, 4-8 Nov. 1996, Tel-Aviv, Israel.
- G. Fayolle et V. Malyshev ont organisé à l'INRIA-Rocquencourt le *Séminaire sur la mécanique statistique des grands réseaux*, 21-25 Octobre 1996. Cette manifestation, à la mémoire de R. Dobrushin, a réuni une quarantaine de participants, venus d'Europe et des États-Unis.

6.4 Enseignement universitaire

- G. Fayolle est chargé de cours au DEA de Paris VI, filière *Probabilités et Applications*. Il y enseigne le module *Classification des chaînes de Markov vectorielles et applications aux réseaux* et a encadré le mémoire de D. Hong qui s'intitulait *Sur la transience du protocole Ethernet dans la cas de politiques de retransmission générales*.
- V. Malyshev a donné un cours sur les réseaux de neurones à l'Université de Moscou, en Mars 1996.

6.4.1 Séminaires

Un séminaire hebdomadaire a lieu, conjointement avec les projets FRACTALES et META2. L'organisation, côté MEVAL, est maintenant confiée à J.-M. Lasgouttes, qui a succédé à Ch. Fricker.

7 Publications

Livres et monographies

- [209] G. FAYOLLE, R. IASNOGORODSKI, V. MALYSHEV, *Random walks in the Quarter Plane*, Springer-Verlag, Applications of Mathematics., à paraître.

Articles et chapitres de livre

- [210] S. ASPANDIAROV, R. IASNOGORODSKI, «General criteria for integrability of functions of passage-times for non-negative stochastic processes and their applications», *Soumis à Journal of Theoretical Probability*, rapport de recherche N^o258, Université Paris VI, Laboratoire de Probabilités.

- [211] S. ASPANDIAROV, R. IASNOGORODSKI, «Tails of passage-times and an application to stochastic processes with boundary reflection in wedges», *Stochastic Processes and their Applications*, à paraître. (Cf. rapport de recherche N^o 251, Univ. Paris VI, Laboratoire de Probabilités).
- [212] S. ASPANDIAROV, R. IASNOGORODSKI, M. MENSNIKOV, «Passage-time moments for non-negative stochastic processes and an application to reflected random walks in a quadrant», *Annals of Probability* 24, 1996.
- [213] G. FAYOLLE, J. LASGOUTTES, «Asymptotics and Scalings for Large Product-Form Networks via the Central Limit Theorem», *Markov Processes and Related Fields* 2, 2, 1996.
- [214] A. GAJRAT, R. IASNOGORODSKI, V. MALYSHEV, «Null recurrent random strings», *Markov Processes and Related Fields* 2, 3, 1996.
- [215] V. MALYSHEV, A. YAKOVLEV, «Condensation phenomena in large Jackson networks», *Annals of Applied Probability* 6, 1, 1996, p. 92–115.
- [216] V. MALYSHEV, «Evolution of interacting strings», *Uspekhi Matemat. Nauk*, 6, 1996.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [217] F. DUMONTET, C. ALLAL, M. PARENT, «Queueing and Optimization Models for Public Cars Transportation systems and Applications for the PRAXITELE project», in : *CESA'96 IMACS Multiconference, Late Papers*, IEEE-SMC, p. 81–85, Lille (France), July 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [218] L. AFANASSIEVA, F. DELCOIGNE, G. FAYOLLE, «Polling systems where servers wait for customers», *rapport de recherche n°3058*, INRIA, Décembre 1996.
- [219] L. AFANASSIEVA, G. FAYOLLE, S. POPOV, «Models for Transportation Networks», *rapport de recherche n°2834*, INRIA, March 1996.
- [220] S. ASPANDIAROV, R. IASNOGORODSKI, «General results on stationary measures of recurrent countable Markov chains and their applications», *rapport de recherche n°278*, Université Paris VI, Laboratoire de Probabilités, soumis à *Bernouilli*.
- [221] S. ASPANDIAROV, R. IASNOGORODSKI, «Three-dimensional reflected driftless random walks in troughs: new asymptotic behavior», *rapport de recherche*, INRIA, 1996.
- [222] G. FAYOLLE, V. MALYSHEV, «Probability and some aspects of computer science», *rapport technique*, Institut Franco-Russe A.M Lyapunov & Université de Moscou, October 1996.
- [223] A. GAJRAT, A. HORDIJK, V. MALYSHEV, F. SPIEKSMAN, «Fluid approximation of decision Markov processes», *Research report*, Leiden University, The Netherlands, 1996.
- [224] A. GAJRAT, A. MANITA, V. SHERBAKOV, A. SOLOVIEV, A. ZAMIATIN, «Communication Networks», *rapport de recherche n°1*, Institut Franco-Russe A.M Lyapunov & Université de Moscou, 1996, Editeurs: G.Fayolle et V. Malyshev (en russe).
- [225] J. LASGOUTTES, «Modélisation probabiliste de grands systèmes Praxitèle», *rapport technique*, INRIA, Décembre 1996.
- [226] V. MALYSHEV, F. SPIEKSMAN, «Dynamics of binary neural networks», *research report n°360*, ESI, Wien, Austria, 1996.
- [227] V. MALYSHEV, «Interacting strings of characters», *rapport de recherche n°3057*, INRIA, Décembre 1996.

8 Abstract

The main objective of the project MODELING AND PERFORMANCE EVALUATION is to provide insight into the behavior of multi-component systems and communication networks. Two complementary approaches are proposed, the emphasis being really laid on the first one:

- *Stochastic modeling.*
- *Simulation.*

Starting from real-world problems, we strive to develop methods and tools for the analysis of efficiency, stability and control of a wide class of systems. The selection of problems is, to a large extent, driven by new applications as they arise (for instance, recently, public service vehicle networks), the goal being always to provide strong relations between applied models and fundamental mathematics. With stochastic processes, queueing theory and analytic methods (functions of several complex variables) as basic theoretical tools, four areas of research are pursued, whose relative importance varies over time:

1. models for transportation and telecommunication systems (random-access algorithms, polling, high-speed and multi-class networks);
2. parallel systems and architectures;
3. queueing networks and random walks (models, package MODLINE);
4. large random systems (thermodynamical limit, phase transitions and connections with statistical mechanics; neural networks).