

Jérôme DURAND-LOSE

Maître de conférences

Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS

27^e section

Demande d'inscription pour
l'Habilitation à Diriger des Recherches

Curriculum Vitæ détaillé incluant
le dossier scientifique et
la liste des publications

Table des matières

Synthèse du dossier	2
Coordonnées et statuts	3
Formation	5
Enseignement	7
Administration	8
Recherche	10
Publications et Travaux	20

SYNTHÈSE DU DOSSIER

Jérôme Durand-Lose

- 35 ans
- ÉNS Lyon, agrégation de mathématiques,
Thèse en Informatique soutenue en 1996 à BORDEAUX I
- Maître de conférence (UFR Sciences, UNSA) depuis 1998
Département d'informatique et Laboratoire I3S
- En délégation au CNRS au LIP, ÉNS Lyon depuis 2001

Enseignement

- 4 ans, service complet, à l'UNSA
- Public : premier et deuxième cycles, éventail large
- Création de cours
Unité enseignement fondamentale tronc commun DEUG,
Unité découverte DEUG,
Objet/Java en Maîtrise MASS

Administration

- Membre CS 27ième de l'UNSA

Enseignement

- Répartition des enseignements
- Gestion de l'occupation des salles informatiques
- Responsable de l'Unité d'enseignements fondamentaux d'informatique du tronc commun (800 étudiants inscrits, 2 chargés de cours, 15+ de TP)

Recherche

- Organisations de conférences (6 dont 2 responsable)
- Secrétariat du séminaire

Recherche

- Domaine : informatique fondamentale
- Thèmes : modèle du calcul massivement parallèles, automates cellulaires, réversibilité, algorithmique distribuée
- Pour l'HDR : définition d'un modèle de calcul géométrique analogique, mise au point d'opérateurs correspondant à des transformations géométriques
- Publications : 1 chapitre de livre, 6 articles en journaux, 6 articles en conférences, encadrement d'étudiant de deuxième et troisième cycle

COORDONNÉES ET STATUTS

Né le 12-05-68 à MONTRÉAL (CANADA)

Nationalité : Française et Canadienne

Dégagé des obligations militaires (coopération au CHILI)

1 enfant

Adresse personnelle : 76, crs. Gambetta,
69007 LYON.

Téléphone : 04-72-72-87-58 (LIP, ÉNS LYON), 04-78-69-32-53 (personnel)

Télécopie : 04 72 72 80 80

Courrier électronique : jerome.durand-lose@ens-lyon.fr

Trilingue : Anglais et Espagnol

Rudiments de Chinois

Statut professionnel

Depuis septembre 2002 Délégation au CNRS

Équipe MC2 (Responsable : J. MAZOYER)

Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme UMR 5668

École Normale Supérieure de LYON

46, allée d'Italie,

69364 LYON CEDEX 07.

Depuis septembre 1998 Maître de conférence

Équipe PACOM/RECIF (Responsable : J. BOND)

Laboratoire Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia-Antipolis (I3S) UMR 6070 et

Département d'Informatique,

UFR Sciences,

Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS,

06 108 NICE Cedex 02.

Statuts professionnels antérieurs

Septembre 1997 à août 1998 Attaché temporaire d'enseignement et de recherche

LaBRI, UFR Mathématiques et Informatique, Université BORDEAUX I.

Septembre 1995 à août 1997 Allocataire moniteur normalien

LaBRI, UFR Mathématiques et Informatique, Université BORDEAUX I.

Février 1994 à juin 1996 Coopération au CHILI

Auprès d'Éric GOLES à l'Université du CHILI à SANTIAGO.

Septembre 1989 à août 1993 Élève ÉNS LYON
Filière *Informatique*.

FORMATION

Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique

Titre

Calculer géométriquement sur le plan — machines à signaux —

Soutenue le 13 décembre 2003 à l'Université de Nice-Sophia Antipolis.

Rapporteurs

- Jean-Paul DELAHAYE, Professeur, U. des Sciences et Technologies de Lille,
- Étienne GRANDJEAN, Professeur, U. Caen,
- Maurice NIVAT, Professeur, U. Paris VII.

Membres du jury

- Michel COSNARD, Professeur, U. Nice,
- Jean-Paul DELAHAYE, Professeur, U. des Sciences et Technologies de Lille,
- Jean-Marc FÉDOU, Professeur, U. Nice,
- Étienne GRANDJEAN, Professeur, U. Caen,
- Jacques MAZOYER, Professeur, ENS Lyon,
- Géraud SÉNIZERGUE, Professeur, U. Bordeaux I.

Thèse en informatique

Titre

Automates cellulaires, automates à partitions et tas de sable.

Soutenue le 17 juin 1996 au LaBRI, Université BORDEAUX I, mention « très honorable ».

Directeurs

- Jacques MAZOYER, Professeur, Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme de l'ÉNS, 1992-1994 ;
- Eric GOLES, Professeur, Departamento de Ingeniería Matemática, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de CHILE à SANTIAGO, en tant qu'enseignant-chercheur (coopération, 16 mois) de février 1994 à juin 1995 ;
- Yves MÉTIVIER, Professeur, LaBRI, 1995-1996.

Rapporteurs

- Jean-Paul ALLOUCHE, Directeur de recherches, CNRS, Université PARIS XI,
- Serge GRIGORIEFF, Professeur, Université PARIS VII.

Examineurs

- Michel MENDÈS-FRANCE (président), Professeur, Université BORDEAUX I,
- Robert CORI, Professeur, Université BORDEAUX I.

École normale supérieure de lyon

1993

Agrégation de Mathématiques

1989-1992

Magistère *Informatique et Modélisation* de l'ÉNS Lyon, mention « bien » :

- **1991-92** : D'ÉA d'Informatique Fondamentale

Mémoire : *Résultats fonctionnels concernant les automates cellulaires*, sous la direction de J. MAZOYER, au LIP, 5 mois ;

- **1990-91** : Maîtrise d'Informatique option « parallélisme »

Stage : *Intensional semantics*, sous la direction de S. BROOKES, à CARNEGIE MELLON University, PITTSBURG, PA, USA, 3 mois ;

- **1989-90** : Licence d'Informatique

Stage : *Optimisation de présentation de code Fortran pour un supercalculateur CRAY 2*, sous la direction de C. EISENBEIS, à l'INRIA ROCQUENCOURT, 6 semaines.

Formation complémentaire

1996-97 Institut d'Administration des Entreprises (IAE) de BORDEAUX

DESS *Certificat d'Aptitude à l'Administration des Entreprises* (CAAE, non validé).

Micro/macro économie, droit des entreprises, comptabilité, informatique de gestion, recherche opérationnelle, statistiques (SAS), gestion financière, marketing, gestion des ressources humaines, gestion de la production et stratégie.

ENSEIGNEMENT

Mon expérience d'enseignant est le fruit de quatre années en tant que maître de conférence à l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, et de trois ans comme moniteur puis Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche, à l'Université BORDEAUX I (environ 1 100 heures équivalent TD).

Au sein de l'UFR Sciences de l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, j'ai enseigné dans différentes filières : Licence et Maîtrise d'Informatique, Tronc Commun des DEUG de Science (hors SVT), DEUG Math.-Info., IUP Méthodes Informatiques Appliquées à la Gestion des Entreprises, Maîtrise de Mathématiques Appliquées aux Sciences Sociales, MST Géosciences et Géotechniques. . .

Par souci de synthèse, ne sont signalés que les points suivants :

Création des enseignements suivants

- création et responsabilité de l'Unité d'enseignements fondamentaux *Informatique et programmation (en Java)* du Tronc Commun de DEUG, 13h cours + 26h TP par étudiant, 800 inscrits, 4 amphis de cours (à deux), 40 groupes de TD, gestion d'une équipe enseignante d'une quinzaine de personnes ;
- création de l'unité *Approche orientée objet en Java* pour des maîtrises non informatique (13 fois 1,5 heures de cours et 2 heures de TD) ;
- création de l'Unité de découverte *Automates cellulaires* pour les étudiants de DEUG (13 fois 2 heures de cours-TD) ;

Autres Points

- mise en place d'un enseignement où le cours est fait par les étudiants sous forme d'exposés, pour le module *Calculabilité et complexité* en Maîtrise d'Informatique (13 fois 2 heures TD). Ceci a demandé un encadrement important de tous les groupes ;
- enseignements d'*initiations* : à l'informatique, à Unix, aux langages C, C++ et Java dans différentes filières pour des volumes très variables ;
- autres enseignements assurés : *Outils formels pour l'informatique, Algorithmique et programmation*. . .
- implication dans les IUP MIAGE de NICE et de BORDEAUX : cours, suivis de stage et sélections des étudiants ;
- *encadrements* de projets de Travaux d'étude et de recherche et mémoires de Maîtrise, et de DÉA.

Différents supports d'enseignement ont été réalisés pour ces enseignements, ils sont, pour la plus part, accessibles depuis <http://deptinfo.unice.fr/~jdurand>.

ADMINISTRATION

Voici la liste des tâches administratives que j'ai eu l'occasion d'assumer.

Commission de spécialiste

Membre titulaire de la CS 27^e de l'Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS depuis début 2002.

Liées à l'enseignement

Répartition des enseignements

Juin 2000 à Juin 2002.

Il s'agit de recenser tous les enseignements relevant du département d'informatique (un peu moins de 12 000 heures) et de les répartir (entre plus de 200 personnes dont 30 permanents). Pour cela, j'ai conçu et réalisé un logiciel : celui-ci stocke toute l'information dans une base de données et permet l'interrogation, la modification et l'expression des souhaits par Internet.

Gestion de l'occupation des salles informatique du petit Valrose

Février à juin 1999.

Il s'agit d'affecter les créneaux des salles machine aux différents enseignements.

Responsable de la seule unité d'informatique du Tronc Commun de DEUG

En 2000-01 et 2001-02.

13h cours + 26h TP par étudiant, 800 inscrits, 4 amphis de cours, 40 groupes de TD, gestion d'une équipe enseignante d'une quinzaine de personnes ;

Participation aux entretiens de sélection pour l'entrée en seconde année de MIAGe

Une année à BORDEAUX, 3 années à NICE.

Chaque candidat est questionné pendant un quart d'heure par deux intervenants de la MIAGe, sur son cursus, ses motivations, sa vision de la MIAGe, de sa carrière après la MIAGe. . .

Magistère d'Informatique de l'ÉNS Lyon

Participation aux entretiens de sélection pour l'entrée en première année (des auditeurs).

Membre du jury de stage du DÈA.

Liées à la recherche

Secrétariat du séminaire de l'équipe PARallélisme et COMbinatoire

Novembre 1998 à juin 2001.

Rédaction d'Ici-LaBRI

Avril 1997 à juin 98 à BORDEAUX.

Le bulletin hebdomadaire du LaBRI comportait une ou deux pages et contient le programme des différents groupes de travail, des séjours de visiteurs étrangers, des présentations de thèses en cours, des informations administratives, l'actualité du campus. . .

Organisation de conférences

19th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science,
(STACS '02), Antibes-Juan-Les-Pins, 14 au 16 mars 2002, 110 personnes, *Responsable organisation locale,*

Troisièmes Journées nationales Systèmes Dynamiques Discrets,
30 (Sophia) et 31 (Nice) mars 2001, 30 participants, *Organisation complète,*

Quatrième École d'Hiver des Télécommunications de Sophia Antipolis,
Techniques algorithmiques avancées pour les télécommunications, 10 - 14 décembre 2001, Antibes, 70 participants, *Participation à l'organisation,*

Troisième École d'Hiver des Télécommunications de Sophia Antipolis,
Couche physique et Transmissions, 4 au 8 décembre 2000, Antibes, 70 participants, *Participation à l'organisation,*

Deuxième École d'Hiver des Télécommunications de Sophia Antipolis,
Conception des Réseaux de Télécommunications 6 - 10 décembre 1999, Antibes, 70 participants, *Participation à l'organisation,*

Journée Quantique - Quantum Day,
18 septembre 1999, Université de Nice-Sophia Antipolis, 25 participants, *Participation à l'organisation.*

RECHERCHE

Dans cette partie, sont présentés mes travaux de recherche durant la thèse, et depuis à l'I3S (UNSA) puis au LIP (ÉNS Lyon, dont la problématique du mémoire d'habilitation à diriger des recherches).

Mes recherches, en informatique fondamentale, portent sur l'évolution collective d'acteurs individuellement insignifiants. Une fourmilière est l'exemple typique d'un tel système, une fourmi seule n'est rien, par contre la fourmilière, en tant que tout, prospère. Pour l'informaticien, les fourmis sont des machines et la fourmilière, un système/réseau informatique. Le but est que le système fonctionne, qu'il mène à bien les tâches qui lui sont confiées (e.g. acheminer les courriels, prévoir la météo, tenir à jour les commandes et les livraisons), ce que nous appelons *calculer*.

La différence fondamentale entre l'informatique et la plupart des disciplines étudiant des systèmes formés d'une multitude d'entités élémentaires quasi-identiques, est, en plus du sujet lui-même, que l'informaticien est démiurge : ces entités ne lui sont pas données mais il les définit en fonction du calcul envisagé.

Mes recherches se placent dans la modélisation de systèmes ayant un très grand nombre de machines aux capacités limitées, et traitent en particulier des liens entre la machinerie élémentaire et le calcul effectué globalement. Dans ce cadre, j'ai travaillé dans trois directions : les tas de sable, l'auto-stabilisation et les automates cellulaires réversibles. Les travaux devant constituer mon mémoire d'habilitation à diriger des recherches, réalisés en délégation CNRS au LIP, se proposent d'initier une nouvelle direction de recherche sur une approche géométrique du calcul.

Mes recherches sont replacées dans mon parcours de chercheur : en thèse, après la thèse à l'I3S (UNSA) puis au LIP (ÉNS Lyon). Pour chaque thématique, après l'avoir située, nos résultats et perspectives sont présentés.

Travaux de thèse

Ma thèse a été commencée au LIP, sous la direction de J. MAZOYER puis continuée en coopération au Chili à l'Université du Chili à Santiago sous la direction d'E. GOLES et enfin présentée au LaBRI de l'Université Bordeaux I, sous la direction d'Y. MÉTIVIER. Ces déplacements expliquent pourquoi deux sujets ont été abordés durant la préparation de la thèse : la dynamique des tas de sable et la simulation entre automates cellulaires réversibles.

Tas de sable

On peut modéliser un *tas de sable* par des piles contenant des grains de sable, quand une pile contient plus de grains qu'une pile voisine, des grains tombent ; au niveau global, il y a éboulement. Cette thématique est très active depuis plus d'une décennie tant du côté de la physique (écoulement granulaire, Self-organized criticality [BTW87] et tas de sable abélien [Dha90, DRSV95]) qu'en informatique pour l'évolution séquentielle [BG92, GK93, GM97, LMMP01] ou parallèle [ALS⁺89, BL92]).

J'ai traité le cas parallèle de piles alignées ; un grain ne pouvant tomber que sur la pile de droite ou de gauche et, plus particulièrement, le cas où tous les grains sont initialement dans la première pile. La Fig. 1 montre une configuration où les piles ont, de gauche à droite, 6, 4, 4 et 2 grains, et deux itérations ; trois grains sont marqués pour montrer leurs parcours.

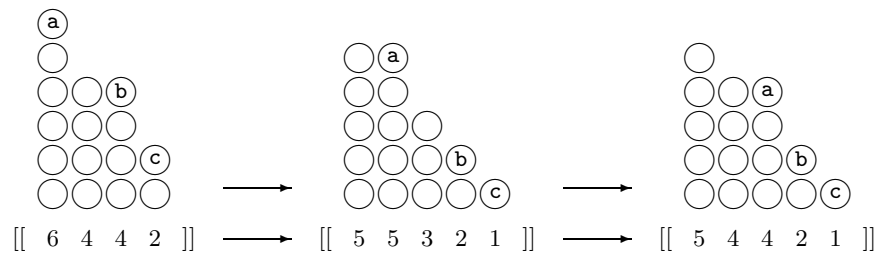
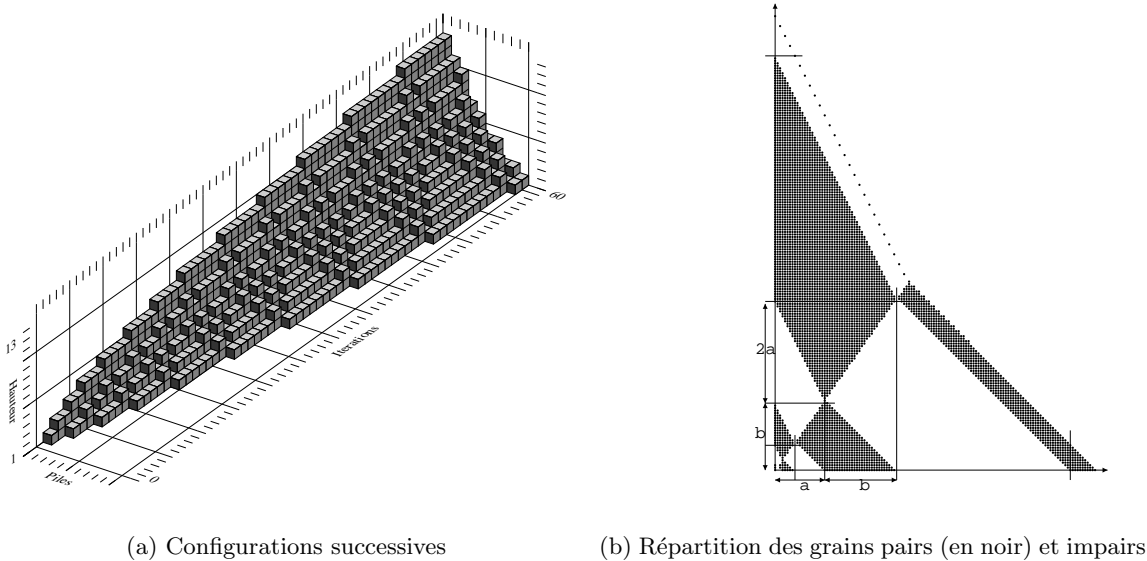


FIG. 1 – Itérations d’un tas de sable unidimensionnel.

En codant la différence entre les piles successives, j’ai mis en évidence l’existence de signaux faisant des aller-retour au sein des configurations. Ceux-ci permettent de décrire simplement la dynamique du système et de déterminer le temps de stabilisation et la configuration finale.

Cette étude m’a permis d’analyser d’autres évolutions comme celles où une source de grains (goutte à goutte de grains) et/ou un puits (absorbeur de grains) est présent. De plus, elle a permis d’expliquer un phénomène de triage des grains (selon la parité de leur ordre d’apparition). La Figure 2(a) montre les configurations successives quand il n’y a qu’un goutte à goutte à l’origine. Les configurations sont mises les unes derrière les autres de manière à former un volume. Les hauteurs et largeurs successives forment deux paraboles. La Figure 2(b) montre la silhouette de la configuration ainsi que les positions des gains d’ordre pair (en noir) ; les grains de la ligne pointillée ne sont pas encore stabilisés.



(a) Configurations successives

(b) Répartition des grains pairs (en noir) et impairs

FIG. 2 – Goutte à goutte à l’origine.

Ces résultats ont donné lieu aux publications suivantes :

- 2 articles dans des revues (*Theoretical Computer Science* et *Complex Systems*).

Ces travaux ont montré la confluence avec les modèles séquentiels et distribués toujours très étudiés. Beaucoup de variations ont été faites sur ce modèle ; il reste encore beaucoup de travail pour comprendre le cas parallèle, notamment la décomposition de certaines variations comme superpositions de ce modèle. Ceci fournirait un cadre algébrique pour traiter directement un grand nombre de variantes.

Automates cellulaires réversibles

Les ordinateurs dissipent beaucoup d'énergie, cela pose un problème pour la consommation et l'évacuation de la chaleur. Pour ne plus dissiper d'énergie, la machine doit être réversible au plus bas niveau. Depuis plus de quatre décennies les modèles de calcul réversibles ont donc suscité l'intérêt des chercheurs, notamment depuis que l'on sait que les machines réversibles calculent « autant » que les irréversibles ([Lec63, Ben73] sur les machines de TURING réversibles).

Les *automates cellulaires* sont un modèle où tous les acteurs sont identiques, ont des perceptions limitées de leur entourage et travaillent de manière synchrone. Ils sont utilisés pour la modélisation avant la réalisation (e.g. architectures massivement parallèles en informatique) autant que pour la simulation de systèmes existants (e.g. écoulements). Le modèle est très simple : les cellules sont régulièrement disposées et ne peuvent communiquer qu'avec les cellules de leur voisinage. Elles changent toutes d'état en même temps, en suivant les mêmes règles de mise à jour. Cela est schématisé sur la Fig. 3(a).

Les automates cellulaires réversibles [TM90] sont ceux pour lesquels le passage d'une configuration à la suivante est une bijection ; le passage à l'unique prédécesseur devant aussi correspondre à un automate cellulaire. Afin de concevoir simplement des automates cellulaires réversibles, MARGOLUS [Mar84] a introduit les automates cellulaires par bloc ; la différence étant la gestion par bloc de la mise à jour. Le schéma de la Fig. 3(b) montre la mise à jour de tels automates.

Dans ce cadre, mes principaux résultats sont, d'une part la possibilité de simuler les automates cellulaires réversibles de chacun des types par ceux de l'autre type sur des configurations finies comme infinies et, d'autre part, la construction, en dimension 2 et plus, d'un automate cellulaire réversible capable de simuler tous les autres. Ceci montre que les automates cellulaires réversibles forment un modèle de calcul acceptable.

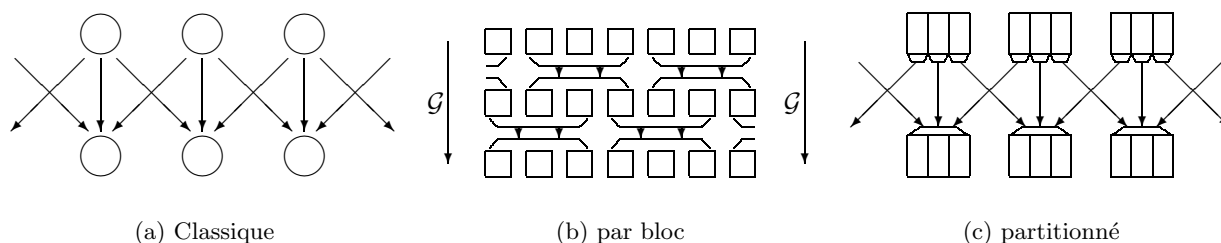


FIG. 3 – Différents type d'automates cellulaires.

Ces résultats ont donné lieu aux publications suivantes :

- 1 article dans une revue (*Theoretical Computer Science*),
- 3 articles en conférence (IC-CCSS '94, LATIN '95 et STACS '97).

Grâce, notamment aux travaux de KARI [Kar96] qui complètent les miens, il ne reste plus beaucoup de problèmes ouverts concernant les automates cellulaires réversibles (e.g. j'ai clos la Conjecture 8.1 de [TM90]). Il reste par contre des problèmes de classifications [MR98]. Il est à noter que les recherches sur la réversibilité sont de nouveau très actives avec le *calcul quantique* ; en effet celui-ci, hormis les lectures et décorrélations, ne peut avoir que des opérateurs réversibles.

Travaux à l'I3S (UNSA)

Au laboratoire Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia-Antipolis, j'ai continué mes travaux sur les automates cellulaires réversibles mais j'ai également travaillé en algorithmique distribuée

sur l'auto-stabilisation.

Automates cellulaires réversibles

Dans la suite mes recherches, j'ai pu prouver que le modèle du Billard de MARGOLUS [Mar84], un automate cellulaire par bloc réversible de dimension 2, est lui aussi capable de simuler tous les automates cellulaires réversibles de dimension 2.

En utilisant les automates cellulaires partitionnés de MORITA [MH89, Mor92] (les cellules sont partitionnées et les cellules voisines ne peuvent accéder qu'à une seule de ces parties, ce qui est schématisé sur la Fig. 3(c)), j'ai pu étendre à la dimension 1 les résultats de simulation entre réversibles et en construire un automate cellulaire réversible qui simule tout les autres.

Ces résultats ont donné lieu aux publications suivantes :

- 1 chapitre de livre,
- 2 articles dans des revues (*Theoretical Computer Science* et *Multi valued logic*),
- 2 articles en conférence (UMC '98 et DM-CCG '01).

Le calcul produit par des collisions de particules (ce qui est le cas du billard) est un domaine très actif, comme en témoigne le livre [Ada02].

Algorithmes auto-stabilisants

Ces travaux se placent dans le contexte de l'algorithmique distribuée, branche de l'algorithmique où l'on considère les machines d'un réseau travaillant sur ce réseau. Les principales différences avec le cadre précédant sont que le réseau ne présente pas de régularité ni de synchronisation et, que les machines peuvent être très différentes.

Tout réseau informatique peut souffrir de différentes défaillances : rupture d'une liaison, machine hors service... Il est très important que le réseau reste le moins longtemps possible en panne et, ceci à un moindre coup. L'*auto-stabilisation* est la branche de l'algorithmique distribuée initiée par DIJKRA [Dij74] dédiée à cette cause. Le but est que le réseau retrouve de lui-même sa cohérence, sans intervention extérieure ni redémarrage.

J'ai conçu un algorithme auto-stabilisant pour le paradigme de l'exclusion mutuelle : une et une seule machine peut avoir accès à une ressource (e.g. imprimante) et à tour de rôle, toutes les machines y auront accès. Les pannes peuvent provoquer l'absence de machine privilégiée comme l'apparition d'une ou plusieurs autres. Cet algorithme est basé sur une sorte de loi d'Ohm modifiée assurant l'existence et la circulation de jetons dans le réseau. Ceux-ci ont un déplacement aléatoire assurant d'une part, qu'ils passeront par toutes les machines et, d'autre part, qu'en cas de multiplicité, ils se rencontreront et fusionneront. La Figure 4 montre une configuration à deux jetons, leur fusion, puis le déplacement du jeton.

Avec l'équipe Parallélisme du LRI, nous avons pu, à partir de ce premier algorithme en concevoir un autre, lui aussi auto-stabilisant, pour l'élection d'un chef : une et une seule machine est distinguée et toutes les autres le savent. Les pannes peuvent provoquer la disparition du chef ou l'apparition de chefs supplémentaires.

Ces résultats ont donné lieu aux publications suivantes :

- 2 articles dans des revues (*Information Processing Letters* et, avec J. BEAUQUIER, M. GRADINARIU et C. JOHNEN, *Journal of Parallel and Distributed Computing*),
- 1 article en conférence (OPODIS '98).

Cette thématique est très dynamique, en témoigne le livre [Dol00]. Notre résultat a été à la base d'autres résultats de l'équipe du LRI (e.g. [BGJ01, Joh02]).

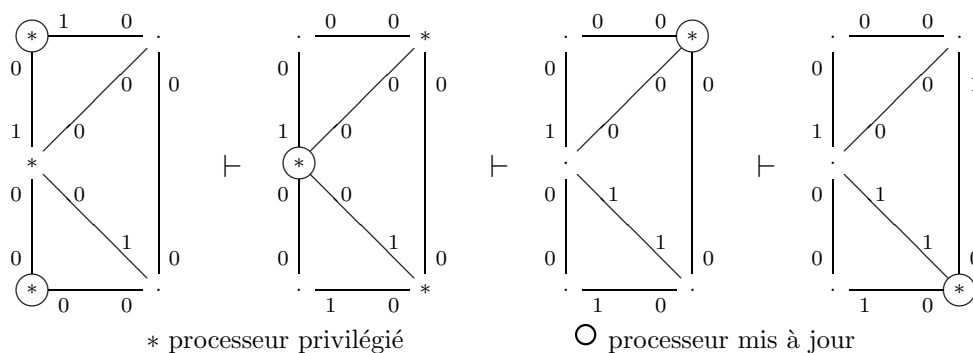


FIG. 4 – Exemple de stabilisation.

Travaux au LIP (ÉNS Lyon)

Modèle de calcul géométrique

Dans le cadre de la préparation de l'habilitation à diriger des recherches, depuis mon arrivée en délégation au Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme, j'ai initié une nouvelle direction de recherche sur l'interprétation de figures géométriques comme des traces de calcul.

La notion de *calcul*, au sens large, est devenue une des notions clé en science. Au début du XX^e siècle, les mathématiciens ont posé la question de la signification de *calculer systématiquement*, et de ce qui pouvait ou non l'être (le programme de HILBERT sous-tendait que cela était toujours possible, GOËDEL a montré que non ; les différentes définitions du calcul proposées se sont révélées équivalentes justifiant la thèse de CHURCH-TURING). L'apparition des ordinateurs a fourni un cadre concret à cette notion. La fin du siècle a montré que l'évolution de beaucoup de systèmes physiques comme biologiques pouvait se comprendre comme un calcul.

Mon but est de formaliser une notion de calcul géométrique permettant de percevoir des figures géométriques suivant des règles de construction strictes comme des traces de calculs ; comme on pourrait l'imaginer en suivant les signaux électriques dans un ordinateur.

Ce modèle a aussi pour origine les travaux sur les automates cellulaires utilisant « signaux » ou « particules » pour définir ce qui peut s'observer sur des diagrammes espace-temps donnés (*cf.* Fig. 5 où l'on voit des « signaux ») ou au contraire pour définir des algorithmes pour des automates cellulaires (*cf.* Fig. 6).

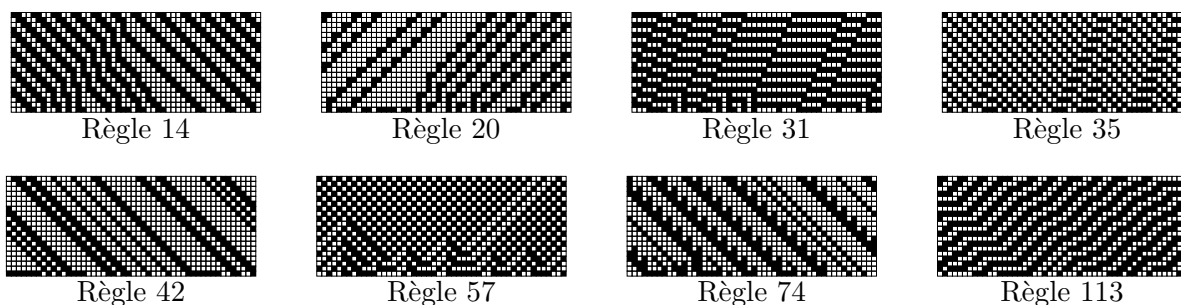


FIG. 5 – Différents diagrammes espace-temps d'automates cellulaires élémentaires.

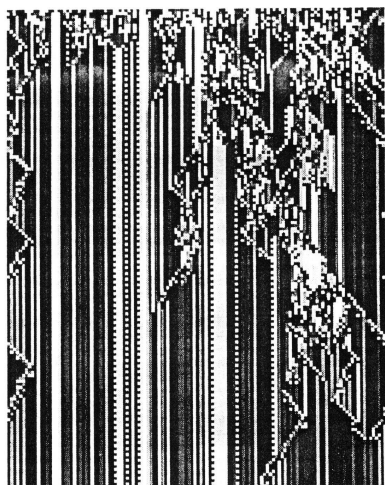



Figure 3: A simulation of the $k = 7$, $r = 1$ universal CA of table 3 for an uncorrelated initial state (with a density of blanks equal to 0.76). Symbols y , 0 , 1 , A , B , \cup , and T are represented by 

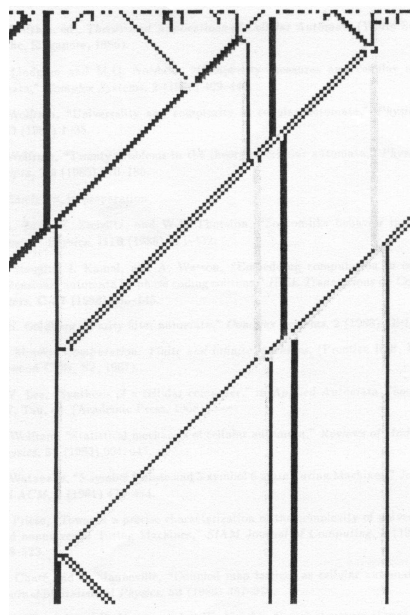


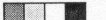
Figure 4: The $k = 4$, $r = 2$ universal cellular automaton of table 4 simulated starting from a random initial state. The symbols 0 , 1 , \cup , and $+$ are represented by 

FIG. 6 – Utilisation de signaux pour construire une machine universelle [LN90, Figs. 3 et 4].

De plus, différents algorithmes ont pour base des dessins *à la règle et au compas* qui sont ensuite « discrétisés » pour être exprimés sous forme d'automates cellulaires. Par exemple, pour résoudre le problème de la *synchronisation d'une ligne de fusiliers* (*Firing Squad Synchronisation Problem*) (cf. [Maz96] pour la définition et l'historique de ce problème ainsi qu'une solution élégante), on peut voir sur la Fig. 7 l'algorithme de [VMP70] présenté géométriquement et sa discrétisation à droite.

Le modèle des machines à signaux est le plus dépouillé possible : une droite sur laquelle se déplace des signaux, tous les signaux de même nature ayant le même comportement. En regardant les positions des signaux sur la droite au cours du temps, on obtient une figure en deux dimensions, les traces des signaux étant des segments de droite. J'ai prouvé que ce modèle peut effectuer tout calcul (au sens de TURING); e.g., la Fig. 8 montre un programme (pour une machine à deux compteurs) et différentes traces/figures correspondant à trois valeurs initiales différentes.

Ce modèle ne saurait être intéressant par sa seule capacité à mener à bien tout calcul, il l'est aussi par la possibilité de définir dans le modèle des opérateurs dont les effets correspondent à des modifications géométriques classiques : translations et homothéties. Elles permettent de changer le lieu du calcul et de l'accélérer en le comprimant, reliant ainsi des opérations géométriques à des notions de calcul en définissant notamment des notions géométriques de simulation et d'équivalence. J'ai pu faire une construction automatique (elle a été programmée comme toutes les autres) permettant de replier un calcul occupant tout l'espace en un calcul limité à un rectangle. La Fig. 9 montre un calcul puis sa restriction à une bande et finalement, à un rectangle (on retrouve l'idempotence du plan et du rectangle).

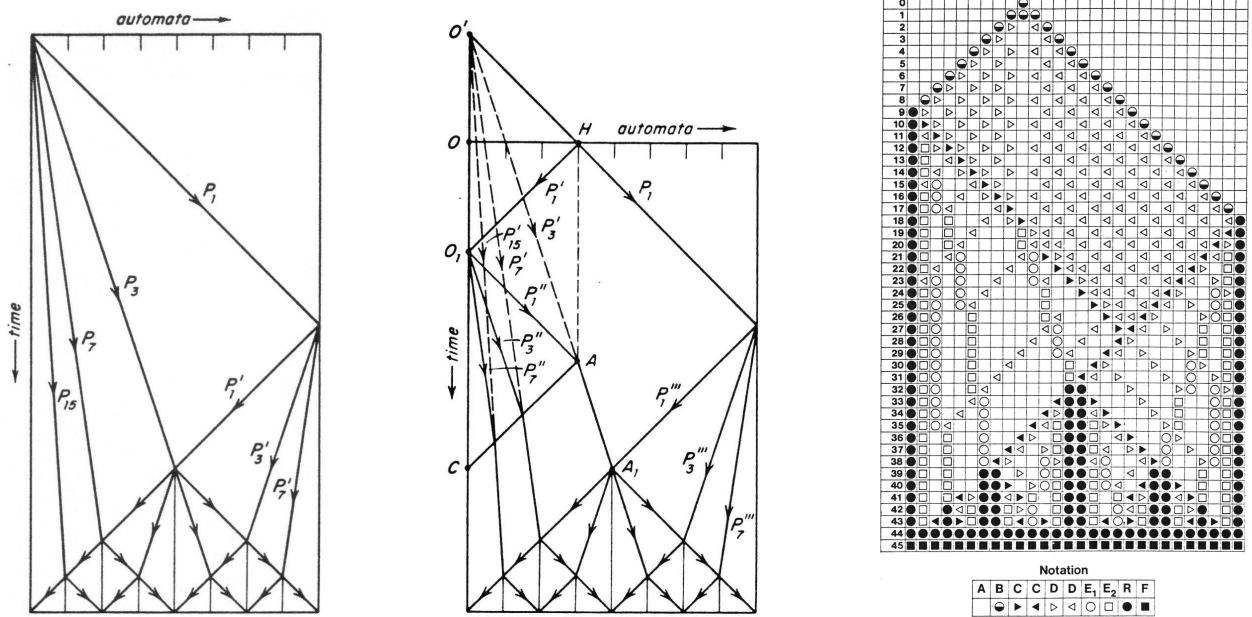


FIG. 7 – Algorithmes géométriques pour la synchronisation de [VMP70, Figs. 1, 2 et 3].

Ce modèle va plus loin que le calcul classique car, étant défini sur du continu, il peut y avoir des points d'accumulation (on retrouve le paradoxe de ZÉNON) comme on peut le voir sur la Fig. 9(c). J'ai démontré que la prédiction de l'apparition de point d'accumulation est impossible (Σ_2^0 -complet, plus que l'arrêt d'une machine de TURING). La validité d'une continuation du calcul après un point d'accumulation est aussi considérée, mais elle peut produire des effets non déterministes.

Ce travail ouvre de nombreuses perspectives : existe-t-il une notion de complexité cohérente, des machines à signaux intrinsèquement universelles ? comment utiliser les singularités pour calculer plus loin que TURING ? que dire des singularités non isolées (l'ensemble des points d'accumulation peut être fractal) ? les constructions des algorithmes d'origine géométrique pour les automates cellulaires se terminent par une discrétisation (parfois nécessaire au bon fonctionnement), existe-t-il des « méthodes automatiques » de discrétisation garantissant la préservation de certaines propriétés (assurant la correction) ? que se passe-t-il en dimension supérieure ? quels sont les liens avec d'autres modèles du calcul analogiques ?

Ceci n'a pour l'instant donné lieu à aucune publication, le travail étant dirigé vers la recherche, la rédaction du mémoire ainsi que la réalisation d'un logiciel permettant de manipuler le modèle (il a engendré toutes les figures et contient toutes des modifications géométriques). La publication des résultats commencera dès l'achèvement du mémoire.

Références

- [Ada02] A. ADAMANSKY (éd.) – *Collision based computing*, Springer, 2002.
- [ALS⁺89] R. ANDERSON, L. LOVÁSZ, P. SHOR, J. SPENCER, E. TARDOS et S. WINOGRAD – « Disks, balls and walls : analysis of a combinatorial game », *American Mathematical Monthly* **96** (1989), p. 481–493.
- [Ben73] C. H. BENNETT – « Logical reversibility of computation », *IBM Journal of Research and Development* **6** (1973), p. 525–532.

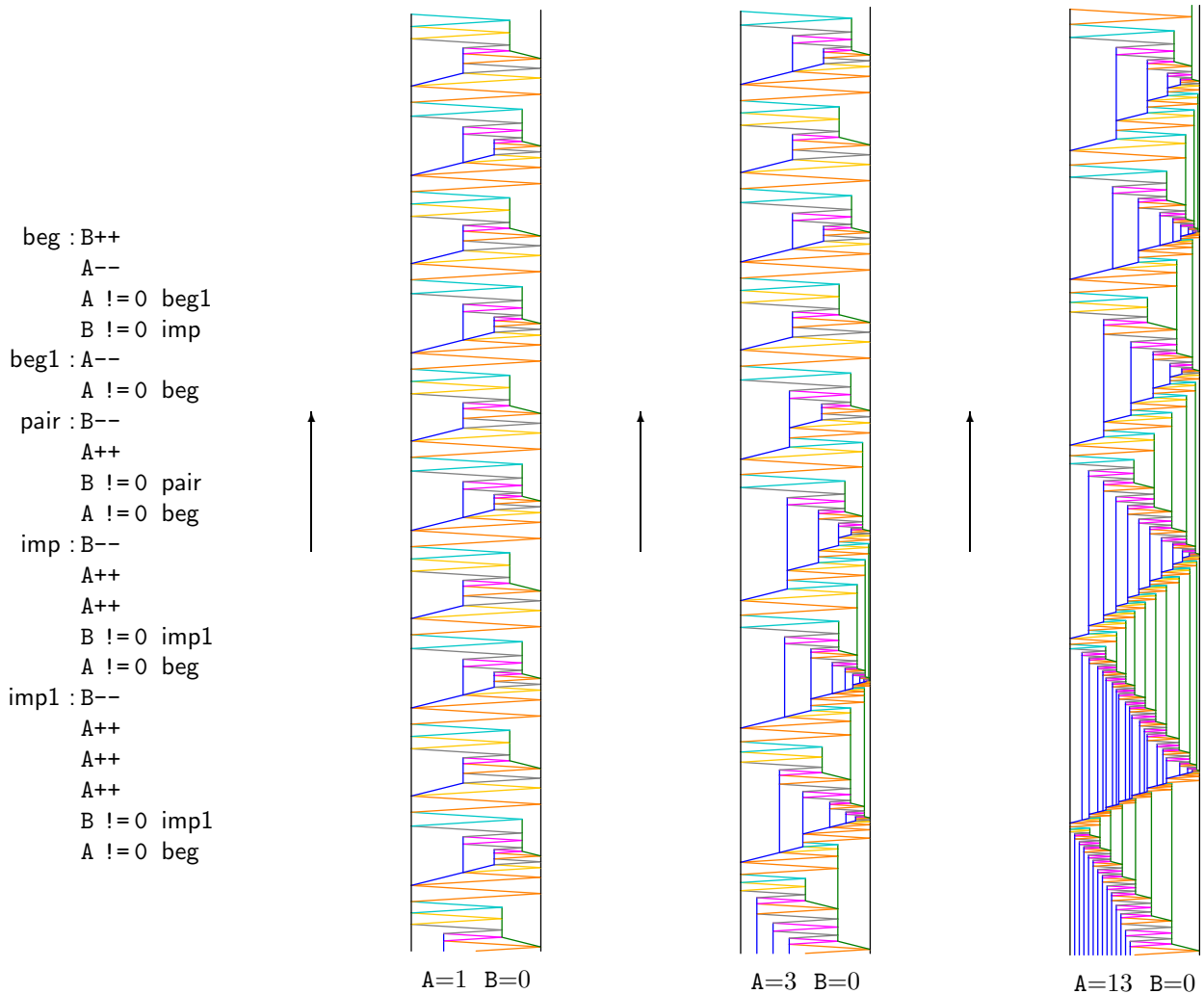
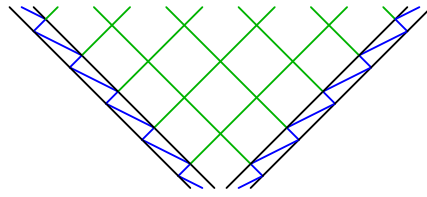
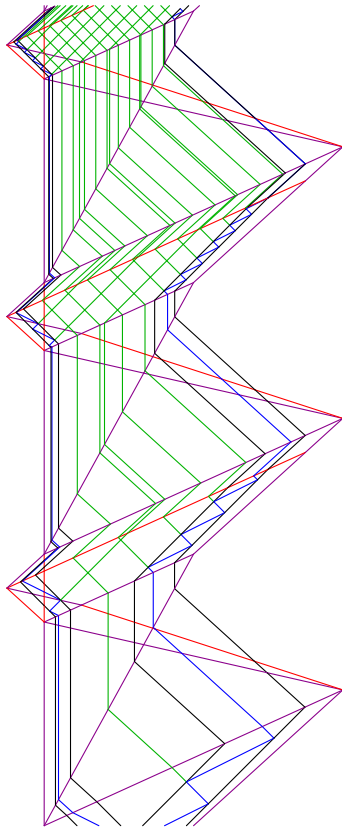


FIG. 8 – Automate à deux compteurs et trois calculs.

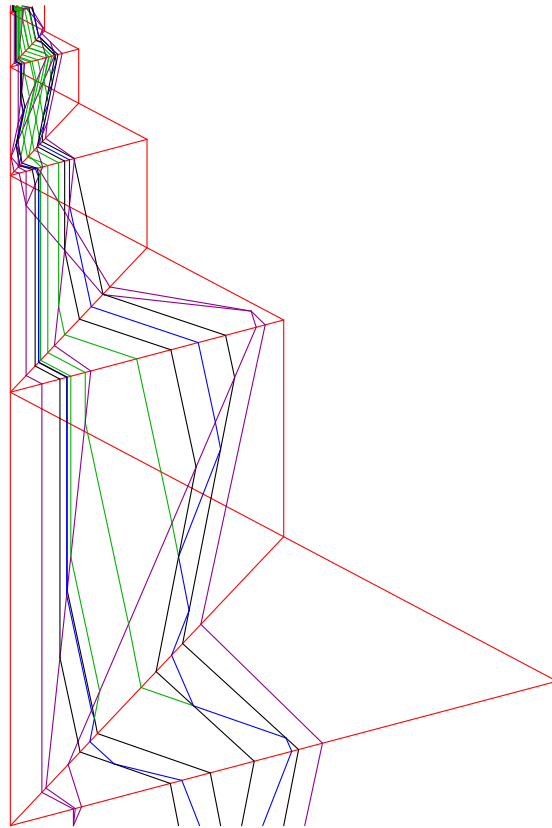
- [BG92] J. BITAR et E. GOLES – « Parallel chip firing games on graphs », *Theoretical Computer Science* **92** (1992), no. 2, p. 291–300.
- [BGJ01] J. BEAUQUIER, M. GRADINARIU et C. JOHNEN – « Cross-over composition - enforcement of fairness under unfair adversary », *International Workshop Self-Stabilizing Systems* (A. K. Datta et T. Herman, éd.), LNCS, vol. 2194, Springer, 2001.
- [BL92] A. BJÖRNER et L. LOVÁSZ – « Chip-firing games on directed graphs », *Journal of Algebraic Combinatorics* **1** (1992), p. 305–328.
- [BTW87] P. BAK, T. TANG et K. WIESENFELD – « Self-organized criticality : an explanation of $1/f$ noise », *Physical Review Letters* **59** (1987), no. 4, p. 381–384.
- [Dha90] D. DHAR – « Self-organized critical state of sand pile automaton models », *Physical Review Letters* **64** (1990), no. 14, p. 1613–1616.
- [Dij74] E. DIJKSTRA – « Self-stabilizing systems in spite of distributed control », *Journal of the ACM* **17** (1974), no. 11, p. 643–644.
- [Dol00] S. DOLEV – *Self-stabilization*, MIT Press, 2000.
- [DRSV95] D. DHAR, P. RUELE, S. SEND et D.-N. VERMA – « Algebraic aspects of Abelian sandpile models », *Journal of Physics A* **28** (1995), p. 805–831.
- [GK93] E. GOLES et M. KIWI – « Games on line graphs and sand piles », *Theoretical Computer Science* **115** (1993), no. 2, p. 321–349.



(a) calcul



(b) contraction à une bande



(c) contraction à un rectangle

FIG. 9 – Contraction d'un calcul à un rectangle.

- [GM97] E. GOLES et M. MARGENSTERN – « Universality of the chip-firing game », *Theoretical Computer Science* **172** (1997), no. 1–2, p. 121–134.
- [Joh02] C. JOHNEN – « Service time optimal self-stabilizing token circulation protocol on anonymous unidirectional », *21st Symposium on Reliable Distributed Systems*, IEEE Computer Society Press, 2002, p. 80–89.
- [Kar96] J. KARI – « Representation of reversible cellular automata with block permutations », *Mathematical System Theory* **29** (1996), p. 47–61.
- [Lec63] Y. LECERF – « Machines de Turing réversibles. Récursive insolubilité en $n \in \mathbb{N}$ de l'équation $u = \theta^n u$, où θ est un isomorphisme de codes », *Comptes rendus des séances de l'académie des sciences* **257** (1963), p. 2597–2600.
- [LMMP01] M. LATAPY, R. MANTACI, M. MORVAN et H. D. PHAN – « Structure of some sand piles

- model », *Theoretical Computer Science* **262** (2001), no. 1, p. 525–556.
- [LN90] K. LINDGREN et M. G. NORDAHL – « Universal computation in simple one-dimensional cellular automata », *Complex Systems* **4** (1990), p. 299–318.
- [Mar84] N. MARGOLUS – « Physics-like models of computation », *Physica D* **10** (1984), p. 81–95.
- [Maz96] J. MAZOYER – « On optimal solutions to the Firing squad synchronization problem », *Theoretical Computer Science* **168** (1996), no. 2, p. 367–404.
- [MH89] K. MORITA et M. HARA0 – « Computation universality of one-dimensional reversible (injective) cellular automata », *Transactions of the IEICE E* **72** (1989), no. 6, p. 758–762.
- [Mor92] K. MORITA – « Any irreversible cellular automaton can be simulated by a reversible one having the same dimension (on finite configurations) », *Technical Report of the IEICE, Comp. 92-45 (1992-10)* (1992), p. 55–64.
- [MR98] J. MAZOYER et I. RAPAPORT – « Inducing an order on cellular automata by a grouping operation », *15th Annual Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science*, LNCS, vol. 1373, Springer, 1998, p. 116–127.
- [TM90] T. TOFFOLI et N. MARGOLUS – « Invertible cellular automata : A review », *Physica D* **45** (1990), p. 229–253.
- [VMP70] V. I. VARSHAVSKY, V. B. MARAKHOVSKY et V. A. PESCHANSKY – « Synchronization of interacting automata », *Mathematical Systems Theory* **4** (1970), no. 3, p. 212–230.

PUBLICATIONS ET TRAVAUX

Coédition de numéro spécial

Theory of Computing Systems consacré à des versions longues d'une sélection d'articles acceptés à STACS 2002, *coéditeur* avec Helmut ALT (F.U. BERLIN),

Chapitre de livre

- [1] Jérôme Durand-Lose. Computing inside the billiard ball model. In A. Adamansky, editor, *Collision based computing*, pages 135–160. Springer, 2002.

Revue internationale avec comité de lecture

- [1] Joffroy Beauquier, Jérôme Durand-Lose, Maria Gradinariu, and Colette Johnen. Token based self-stabilizing uniform algorithms. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 62(5):899–921, 2002.
- [2] Jérôme Durand-Lose. Grain sorting in the one dimensional sand pile model. *Complex Systems*, 10(3):195–206, 1996.
- [3] Jérôme Durand-Lose. Parallel transient time of one-dimensional sand pile. *Theoretical Computer Science*, 205:183–193, 1998.
- [4] Jérôme Durand-Lose. Randomized uniform self-stabilizing mutual exclusion. *Information Processing Letters*, 74:203–207, 2000.
- [5] Jérôme Durand-Lose. Reversible space-time simulation of cellular automata. *Theoretical Computer Science*, 246:117–129, 2000.
- [6] Jérôme Durand-Lose. Back to the universality of the Billiard ball model. *Multiple Valued Logic*, 6(5–6):423–437, 2001.
- [7] Jérôme Durand-Lose. A kleene theorem for piecewise constant signals automata. *Information Processing Letters*, (To appear), 2003.

Conférences internationales avec comité de lecture et actes

- [1] Marc Daumas, Jérôme Durand-Lose, and Lois-Pascal Tock. High speed implementation of a cellular automaton. In *XIV International Conference of the Chilean Computer Science Society*, pages 283–294, 1994.
- [2] Jérôme Durand-Lose. Representing reversible cellular automata with reversible block cellular automata. In Michel Morvan Robert Cori, Jacques Mazoyer and Rémy Mosseri, editors, *Discrete Models: Combinatorics, Computation, and Geometry, DM-CCG '01*, volume AA of *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science Proceedings*, pages 145–154, 2001.

- [3] Jérôme Durand-Lose. Reversible cellular automaton able to simulate any other reversible one using partitioning automata. In *LATIN '95*, number 911 in LNCS, pages 230–244. Springer-Verlag, 1995.
- [4] Jérôme Durand-Lose. Intrinsic universality of a 1-dimensional reversible cellular automaton. In *STACS '97*, number 1200 in LNCS, pages 439–450. Springer-Verlag, 1997.
- [5] Jérôme Durand-Lose. About the universality of the billiard ball model. In M. Margenstern, editor, *Universal Machines and Computations*, volume 2, pages 118–133. Université de Metz, 1998.
- [6] Jérôme Durand-Lose. Randomized uniform self-stabilization mutual exclusion. In A. Bui and V. Villain, editors, *Distributed computing (OPODIS '98)*, pages 89–98. Hermes, 1998.

Comités et arbitrages

Discrete Models for Complex Systems, Lyon, 16-19 juin 2003, membre du *comité de programme*,

Arbitrages pour les journaux Physica D, RAIRO - Informatique Théorique et Applications, Theoretical Computer Science, Trans. IEICE (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, JAPON),

Arbitrages pour les conférences DISC '01, DM-TCS '00, DM-CCG '01, DMCS '03, ICALP '00 et '02, LATIN '04, SIROCCO '98 et '99, STACS '00, '01, '02, '03 et '04.

Encadrements de stagiaires

DÉA Informatique, UNSA

Tareq ABED RABBU, *Automates et expressions régulières temporisés*, 2002,

Magistère informatique de l'ÉNS Lyon

Guillaume THEYSSIER, *Systèmes et algorithmes auto-stabilisants*, 2000,

Clément FRANKINI, *Manipulations de Fractals par des transducteurs*, 2003,

Étudiant étranger

Brijesh P. PINTO, IT Kanpur, *Finite automata for unidimensional fractal*, 2003,

Autres

Trois mémoires de Maîtrise MASS.