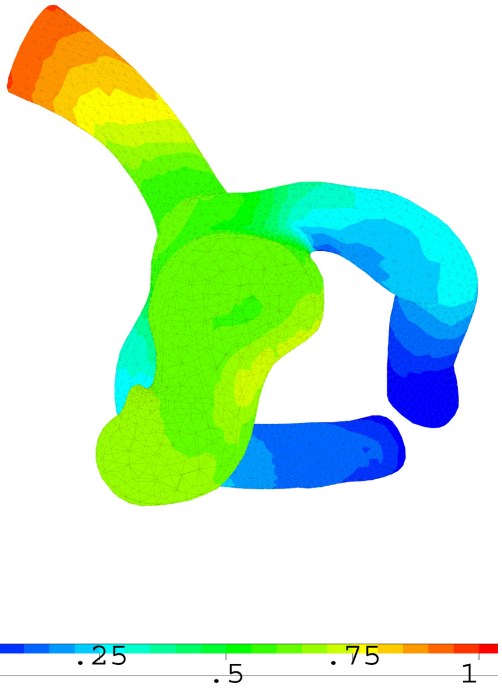
SMAI MATAPLI

SOCIÉTÉ DE MATHÉMATIQUES
APPLIQUÉES ET INDUSTRIELLES



N°- 75 • DÉCEMBRE 2004

SOMMAIRE

Éditorial, *par M. Bergounioux* 3

Smai Infos

Rapport financier pour l'année 2003, *par C. Picard* 5

Compte-rendu des bureaux de la Smai, *par A. Prignet* 15

Nouvelles des mathématiques appliquées

Bilan de la session 2004 du CNU 17

La vie de la communauté, *par R. Touzani* 25

Mathématiques appliquées et informatique

Les systèmes de calcul distribué à large échelle, *par F. Cappello & al.* 29

Modelling of Miscible Liquids and Microgravity Experiments, *par N. Bessonov & al.* 51

The multiparameter conjugate gradient algorithm, *par F. Bantegnies & C. Brezinski* 67

En direct de l'Histoire

Jean Kuntzmann, *par J. Delladora* 87

Enseignement et vie doctorale

Résumés de thèses, *par A. Blouza* 97

Congrès et colloques

Annonces de colloques, *par B. Nkonga* 103

Bulletins d'adhésion 2004

Correspondants régionaux

Smai – Institut Henri Poincaré – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris Cedex 05
Tél : 01 44 27 66 62 – Télécopie : 01 44 07 03 64
`smai@ihp.jussieu.fr – http ://smai.emath.fr`

DASSAULT CHAIR

Call for applications

Center for Mathematical Modeling
Universidad de Chile

In the framework of an agreement between Dassault Aviation and the Center for Mathematical Modeling (CMM - UMI 2807-CNRS) of Universidad de Chile in Santiago, we call for applications from outstanding researchers in all areas of mathematics related with research developed at CMM, to fill up the Dassault Chair for 2005.

The chair consists of a full time research position at CMM for a period of 3 or 6 months, beginning between March and May 2005, and includes a monthly allowance of US$ 5000. The recipient of the chair is expected to engage in fundamental research, develop collaboration with permanent researchers at CMM, and participate in the activities of the Center, both by delivering seminars and by tutoring students.

Applications must include a short letter indicating the expected duration for the chair, a 3 page proposal describing the research program to be developed at CMM, and an abridged Curriculum Vitae.

These items should reach CMM before November 15th, 2004, and may be sent either by e- mail or regular mail to:

Dassault Chair Selection Committee (c/o Dalia Finkelstein)
Center for Mathematical Modeling
Universidad de Chile
Avda. Blanco Encalada 2120, 7o. piso
Santiago, CHILE
e-mail : dfinkels@dim.uchile.cl
website : www.cmm.uchile.cl

The final selection will be made by the International Advisory Board of CMM, and the result will be announced by the middle of December 2004.

ÉDITORIAL

par Maïtine Bergounioux

Matapli change de mains. Je suis la nouvelle rédactrice en chef de notre revue après que notre collègue Alain Largillier a passé la main. Je ne suis pas spécialiste des grandes déclarations d'intention, aussi ce message sera t'il court. Je souhaite qu' au travers de la revue (que nous allons essayer de garder au rythme de 3 numéros pas an) nous puissions rendre compte de la diversité et du dynamisme des membres de la SMAI. Outre les rubriques habituelles, je souhaite pour les prochains numéros proposer une rubrique « courrier des lecteurs » et/ou tribune libre. Un autre grand « chantier » sera de recenser les nouvelles formations LMD en mathématiques appliquées. Je souhaite également faire un panorama de la recherche en mathématiques appliquées en consacrant quelques pages de chaque numéro à la présentation de deux ou trois laboratoires.

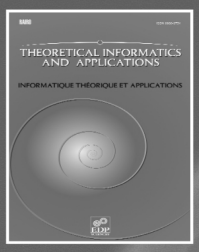
Pour cela, il faut que l'ensemble de notre communauté se mobilise en relayant. Celle-ci doit passer par les correspondants dont le rôle est plus important que jamais et être la plus exhaustive possble. Ainsi, nous pourrons faire de Matapli un outil encore plus performant au service de tous.

EDP SCIENCES

2004 Mathematics Online

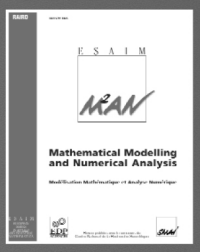
www.edpsciences.org

- RAIRO - Theoretical Informatics and Applications (ITA)
- RAIRO - Operations Research (RO)
- ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis (M2AN)
- ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations (COCV)
- ESAIM: Probability and Statistics (P&S)
- ESAIM: Proceedings



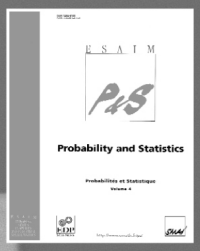
0988-3754 • Vol. 38
4 issues
print & full-text online edition
* France: **301 €**
* Europe: **357 €**
* Rest of the world: **367 €**

0399-0559 • Vol. 38
4 issues
print & full-text online edition
* France: **261 €**
* Europe: **328 €**
* Rest of the world: **339 €**



0764-583X • Vol. 38
6 issues
print & full-text online edition
* France: **648 €**
* Europe: **811 €**
* Rest of the world: **830 €**

1292-8119 • Vol. 10
* Institutions (paper version only): Europe: **165 €** Rest of the world: **165 €**
* Institutions (online only): Europe: **218 €** Rest of the world: **218 €**
* Institutions (paper + online versions): Europe: **328 €** Rest of the world: **328 €**
* Individuals (online only): Europe: **52 €** Rest of the world: **52 €**



1292-8100 • Vol. 8
* Institutions (paper version only): Europe: **82 €** Rest of the world: **82 €**
* Institutions (online only): Europe: **152 €** Rest of the world: **152 €**
* Institutions (paper + online versions): Europe: **211 €** Rest of the world: **211 €**
* Individuals (online only): Europe: **43 €** Rest of the world: **43 €**

1270-900X
* Electronic access to ESAIM: Proceedings' volumes is **free** of charges.

France and Europe: VAT included - Rest of the World: without VAT

ORDER DIRECTLY TO **EDP Sciences**

17 av. du Hoggar • B.P. 112 • 91944 Les Ulis Cedex A • France
Tel. 33 (0)1 69 18 75 75 • Fax 33 (0)1 69 86 06 78 • subscribers@edpsciences.org

RAPPORT FINANCIER POUR L'ANNÉE 2003*

par Colette Picard†

Pour la cinquième et dernière année, j'ai le plaisir de présenter les comptes 2003 de l'association SMAI. Ces comptes, élaborés par la comptable de la SMAI Odile Peloutier selon le plan comptable général, ont déjà été présentés au conseil d'administration du 12 mars dernier. Depuis, ils ont été contrôlés par un expert comptable de la société HLB Sofideec ; des modifications mineures ont été demandées et apportées.

Les faits marquants 2003, à incidence financière

L'évolution des comptes 2003 par rapport à ceux de 2002 résulte essentiellement des évènements exceptionnels suivants :
- la célébration des 20 ans de la SMAI,
- le Prix Jacques-Louis Lions,
- la parution de la brochure « Explosion des Mathématiques »,
- la réalisation des Œuvres Choisies de Jacques-Louis Lions,
- la réduction de la contribution financière d'EDP Sciences,
- le succès du CEMRACS et du CANUM, versions 2003.

Les différents comptes

La SMAI est une association loi 1901 sans but lucratif de 1200 membres environ.

L'activité éditoriale concernant les revues scientifiques de la série ESAIM (M2AN, COCV, P&S, Proc) et les activités des groupes (AFA, GAMNI, MAS, MODE), du CEMRACS et de congrès sont considérées comme lucratives. Elles sont donc regroupées dans un secteur soumis aux impôts commerciaux : impôt sur les sociétés, TVA, taxe professionnelle.

Des comptes séparés pour le secteur associatif non fiscalisé et pour le secteur fiscalisé ainsi que des comptes consolidés (c'est à dire toutes activités confondues) doivent être établis (comptes de résultat et de bilan passif et actif). Ils sont présentés dans les tableaux qui suivent et amènent quelques commentaires.

*Assemblée générale du 2 avril 2004 à Limoges
†Trésorière de la SMAI

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 6 — #2

Compte de résultat des activités associatives

Les recettes proviennent essentiellement des adhésions. Durant les cinq dernières années, leur montant a faiblement baissé : 320kF en 1999, 318kF en 2000, 323kF= 49,3k€ en 2001, 48,8k€ en 2002, 48,4k€ en 2003.

La dépense essentielle est la réalisation du bulletin de liaison MATAPLI et son envoi à chaque adhérent. L'évolution de son coût est préoccupante : 160kF en 1999, 120kF en 2000, 147kF = 22,4k€ en 2001, 29,8k€ en 2002, 30,8k€ en 2003. Ce fait, déjà souligné l'an dernier, nécessite des décisions.

Côté dépenses exceptionnelles, les différentes manifestations organisées à l'occasion des 20 ans de la SMAI (conférence « Prospective sur la modélisation mathématique en biologie et en médecine », tables rondes « Les métiers des mathématiques » et « Les mathématiques dans l'industrie et les services », journée « Réflexion sur les logiciels » à l'INRIA Rocquencourt, cérémonie en l'honneur des lauréats des prix 2003 de l'Académie des sciences en informatique et mathématiques appliquées) ont coûté 9k€. Des affiches ont également été réalisées.

Enfin, le prix Lagrange décerné tous les quatre ans lors du congrès ICIAM, à Sydney en 2003, représente une charge de 1000 €. Pour ces raisons, le compte « Activités associatives » a un résultat négatif en 2003 de -3284€.

Compte de résultat ESAIM

Le contrat entre EDP Sciences et la SMAI, concernant le secrétariat éditorial des trois revues ESAIM COCV, P&S etProc, a été renégocié et, à partir de janvier 2003, la contribution financière d'EDP Sciences diminue de 6000 €. Cette baisse avait été anticipée en 2002 par la transformation du poste de secrétaire éditoriale à plein temps en un poste à temps partiel. À présent le compte ESAIM est bien juste en équilibre et il ne permettrait pas les nouveaux investissements qui pourraient s'imposer.

Résultat des activités du secteur fiscalisé (autres que ESAIM)

Les Œuvres Choisies de Jacques-Louis Lions sont parues en avril 2003. Un soutien financier du Ministère de la Recherche a été attribué à la SMAI pour la publication de cet ouvrage de trois volumes qui rassemblent une sélection d'articles de Jacques-Louis Lions. Leur édition a été réalisée par EDP Sciences. La somme de 3k€ est restée à la charge de la SMAI.

Le CANUM 02 d'Anglet co-organisé par le laboratoire de Mathématiques appliquées de l'université de Pau (C. Amrouche) est clos, il a dégagé un résultat de 4,6k€. Le CANUM 03 de la Grande Motte co-organisé par la laboratoire ACSION de l'université de Montpellier II (B. Mohammadi) n'est pas clos, il

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 7 — #3

aura un résultat de l'ordre de 8k€. Le CEMRACS 03 organiséé par S. Cordier, T. Goudon, M. Gutnic et E. Sonnendrücker sur « Les méthodes numériques pour les systèmes hyperboliques et cinétiques » a été une réussite, le compte n'est pas clos, le résultat est de 9k€ au 31 décembre. Félicitations à tous ces organisateurs dévoués !

Prix Jacques-Louis Lions

La SMAI a créé en 2003, en collaboration avec l'INRIA et le CNES, le Prix Jacques-Louis Lions, grand Prix thématique de mathématiques appliquées de l'Académie des sciences, décerné tous les deux ans, d'un montant de 10000€, répartis en 2000€ versés par la SMAI, 4000€ versés par l'INRIA et 4000€ versés par le CNES. L'association « Colloque Jacques-Louis Lions », lors de son assemblée générale de dissolution en mai 2003, a décidé de transmettre ses fonds restants, soit 17886€, à la SMAI exclusivement pour financer ce prix. Pour le premier prix de 2003, la SMAI a pris en charge la part du CNES et a donc payé 6000€ + 8% de frais. Le CA du 12 mars 2003 a pris la décision de financer ce prix par les intérêts d'un placement spécifique (emprunt BNP Paribas à 5,7%) pour en assurer la perpétuité.

Conclusion

Le résultat de 15230 € pour l'année 2003 est donc très satisfaisant, après l'année 2002 en équilibre et les forts déficits de 2001 et 2000.

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 8 — #4

Compte de résultat des activités associatives au 31 décembre 2003

Produits d'exploitation		€
Adhésions (net)		48 461
Publicités sans Matapli		1050
Droits d'auteurs		52
	Total	48 886
Charges d'exploitation		
Fournitures bureau		1 425
Matapli		30 809
AG et CA		3 255
20 ans		8 954
Frais postaux		1 015
Téléphone		1 026
Adhésions autres sociétés savantes		1 859
Prix (1/2 B.Pascal, ICIAM Lagrange)		1 765
Frais de mission et de représentation		2 981
Location, assurances, divers		1 290
Comptable et expert comptable		1 742
Dotation amortissement		1 263
	Total	57 384
Résultat d'exploitation		**- 7 821**
Produits financiers		
Produits (épargne, coupons, emprunt)		4 634
Dividendes (EDP Sciences)		264
	Total	4 898
Frais financiers		74
	Total	122
Résultat financier		**4 824**
Impôts sur placements		287
Résultat		**- 3 284**

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 9 — #5

Compte de résultat ESAIM au 31 décembre 2003

Produits d'exploitation		€
EDP Sciences		24 443
Produits annexes		1 830
	Total	26 273
Charges		
Fournitures bureau		809
Frais postaux		148
Téléphone		491
Frais d'impression (ESAIM-M2AN)		1 464
Frais de mission et représentation		1 099
Location, entretien, assurances		1 162
Comptable et expert comptable		314
Salaires et charges sociales		18 080
Taxe professionnelle		1 187
Dotation amortissement		1 395
	Total	26 149
Résultat		**124**

Résultats des diverses activités au 31 décembre 2003

	Produits	*Charges*	*Résultat 03* €
Activités associatives			- 3 284
SMAI IS (OC JLL,...)	29 828	31 591	- 1 763
ESAIM	26 273	26 149	124
CANUM 02 (clos)	22 729	17 134	- 1 748
CANUM 03 (non clos)	16 462	8 395	8 067
CEMRACS 03 (non clos)	57 882	48 717	9 165
GAMNI	9 121	9 045	76
AFA	2 083	635	1 448
MAS	3 020		3 020
MODE	2 079	1 954	125
Résultat			**15 230**

Compte de résultat des activités du secteur fiscalisé au 31 décembre 2003

Produits d'exploitation		€
Congrès (CANUM, CEMRACS, J. MODE)		21 396
Adhésions GAMNI 2003		520
Produits Annexes (EDPSc,Ellipses,..)		29 273
	Total	51 189
Charges		
Fournitures bureau		1 668
Frais postaux		296
Téléphone		715
Prix (1/2 B. Pascal, DODU)		1 515
Œuvres Choisies JL. Lions		3 064
Frais mission et représentation (hors congrès)		1 948
Location, assurances, divers		1 187
Comptable et expert comptable		1 234
Impression ESAIM-M2AN		1 464
Congrès (CANUM, CEMRACS, MODE)		
Taxe professsionnelle		1 187
Salaires et charges sociales (ESAIM)		18 080
Dotations amortissements		1 395
	Total	33 753
Résultat d'exploitation		**17 436**
Produits financiers		
Produits sur épargne (AFA)		1 078
Frais financiers		
Résultat financier		**1 078**
Impôt Sociétés		
Résultat		**18 514**

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 11 — #7

Compte de résultat consolidé au 31 décembre 2003

Produits d'exploitation		€
Publicité		1 050
Congrès (CANUM,CEMRACS, MODE)		21 396
Adhésions GAMNI 2003		520
Adhésions SMAI		48 461
Produits annexes (EDP Sc,...)		29 325
	Total	100 752
Charges		
Fournitures bureau		3 093
MATAPLI		30 809
Assemblée générale et CA		4 017
Frais postaux, téléphone		3 256
Adhésions aux autres sociétés		1 859
Prix (B. Pascal, ICIAM Lagrange, Dodu)		3 280
Frais de mission et de représentation		4 928
Location, assurances, divers		2 477
Comptable, expert comptable		2 976
Impression ESAIM-M2AN		1 464
Taxe professionnelle		1 187
Salaires et charges sociales		18 080
20 ans		8 954
Dotation amortissement		2 658
	Total	91 137
Résultat d'exploitation		**9 615**
Produits financiers		
Produits (épargne, coupons, emprunt)		5 712
Dividendes (actions EDP Sc.)		264
	Total	5 976
Résultat financier		**5 902**
Impôts (produits financiers 01, 02)		287
Impôt Société 03		
Résultat		**15 230**

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 12 — #8

Bilan des activités associatives au 31 décembre 2003

		Brut	*Amort.*	*Net*
	Actif immobilisé			
	Immobilisations incorporelles			
	Immobilisations corporelles	12 140	9 639	2 501
	Immo. financières (EDPSc)	12 806		12 806
	Total	24 946	9 639	15 307
	Créances d'exploitation			
Actif	Clients	1 750		1 750
	Compte de liaison	81 633		81633
	VMP	265 839		255 839
	Disponibilités	31 475		31 475
	Charges constatées d'avance	1 930		1 930
	Produits à recevoir			
	Total	382 627		382 627
	TOTAL	407 573	9 639	**397 934** €

Bilan des activités associatives au 31 décembre 2003

Passif

Capitaux propres			
Réserves (résultats antérieurs)			364 079
Réserves SMAI		306 152	
Réserves GAMNI		57 927	
Résultat de l'exercice 03			- 3 284
	Total		360 795
Dettes (A)			
Fournisseurs			23 927
Compte de régularisation passif (B)			
Produits constatés d'avance			
(Adhés.04 et finan. Prix JL Lions)			13 212
	Total A+B		37 139
Impôts sur placements			
	TOTAL		**397 934** €

"RapportFinancier2003" — 18/11/2004 — 17:17 — page 13 — #9

Bilan des activités soumises à l'IS au 31 décembre 2003

Actif

Actif immobilisé	*Brut*	*Amort.*	*Net*
Immobilisations incorporelles	573	573	
Immobilisations corporelles	4 109	3 155	954
Total	4 682	3 728	954
Créances d'exploitation			
Clients	11 757		11 757
Impôts sur les sociétés	2 262		2 262
TVA récupérable	2 305		2 305
Disponibilités	159 609		159 609
Produits à recevoir	17 368		17 368
Charges constatées d'avance	60		60
Total	193 361		193 361
TOTAL	198 043	3 728	**194 315 €**

Bilan des activités soumises à l'IS au 31 décembre 2003

Passif

Capitaux propres		
Réserves (résultats antérieurs)		19 276
Réserves SMAI	- 15 984	
Réserves GAMNI	- 23 385	
Réserves MODE	1 595	
Réserves MAS	- 729	
Réserves CEMRACS	10 792	
Réserves AFA	46 987	
Résultat de l'exercice 2003		18 514
Total		37 790
Compte de liaison		81 633
Dettes		
Fournisseurs		61 399
Dettes sociales		3 507
TVA collectée		9 986
Total		74 892
TOTAL		**194 315 €**

Bilan consolidé au 31 décembre 2003

Actif

	Brut	*Amort.*	*Net*
Actif immobilisé			
Immobilisations incorporelles	573	573	
Immobilisations corporelles	16 249	12 794	3 455
Immo. financières (EDPSc)	12 806		12 806
Total	29 628	13 367	16 261
Créances d'exploitation			
TVA récupérable	2 305		2 305
Clients	13 507		13 507
Impôts sur les sociétés	2 262		2 262
VMP	265 839		265 839
Disponibilités	191 084		191 084
Produits à recevoir	17 368		17 368
Charges constatées d'avance	1 990		1 990
TOTAL	523 983	13 367	**510 616 €**

Bilan consolidé au 31 décembre 2003

Passif

Capitaux propres		
Réserves (résultats antérieurs)		383 355
SMAI	290 168	
GAMNI	34 542	
MODE	1 595	
MAS	- 730	
CEMRACS	10 792	
AFA	46 987	
Résultat de l'exercice 2003		15 230
Total		398 585
Dettes (A)		
Fournisseurs		85 326
Dettes sociales		3 507
TVA collectée		9 986
Compte de régularisation passif (B)		
Produits constatés d'avance		
(Adhé. 2004,finan. Prix JLL)		13 212
Total A+B		**112 031**
TOTAL		**510 616€**

COMPTES-RENDUS DE LA SMAI

par Alain Prignet

Compte-rendu du bureau de la Smai du 7 mai 2004

Présents : C. Picard, F. Bonnans, A. Prignet, M. Thera.

Prévision de calendrier prochain bureau et CA. Le CA est déplacé au 18 juin. Le bureau du 11 juin est maintenu.

Congrès SMAI 2005 : point sur le comité scientifique.

Assemblée générale de l'EMS à Upsala : C. Picard et M. Théra représenteront la SMAI. Il va être demandé a D. Cioranescu une synthèse à ce sujet.

Journée d'accueil MCF : suite à l'assemble générale, le bureau a rediscuté de la proposition et soutient cette manifestation notamment financièrement.

Représentant de la SMAI au conseil scientifique du CIRM : M. Esteban est reconduite.

Représentants de la SMAI au CNFM : en remplacement de J. Lacroix et G. Pages, C. Graffigne et C. Picard sont nommées.

Contrat pour la mise à jour de l'annuaire des conférences en mathématiques (ACM) : ce sera un contrat Junior Entreprise Cristal (Epita) (2000€ HT)

Chaire Unesco : pour soutenir la Chaire Unesco le CA du 12 mars 2004 a proposé de donner des livres pour un montant de 500€.

Projet de création d'un journal électronique pour les codes de recherches scientifiques, présenté par Jacques Laminie. Parmi les objectifs de telles publications : la reconnaissance du travail des développeurs de codes de recherches et la pérennisation de ces codes. Le projet parait très intéressant. Cependant, lancer et faire vivre une nouvelle revue semble difficile. Une réflexion est engagée.

Secrétariat : le bureau regrette de ne pas avoir reçu un document écrit décrivant les souhaits de Mme Duneau en matière d'organisation du temps de travail, comme cela a été demandé.

Compte-rendu du bureau de la Smai du 11 juin 2004

Présents : F. Bonnans, C. Picard, A. Prignet, C. Saguez, M. Théra

ESAIM : texte décrivant concernant le fonctionnement du secrétariat adopté par le bureau. Discussion des contrats entre la SMAI et EDPSciences. Proposition du comité éditorial de RAIRO:RO. Discussion sur l'organisation de la collection Mastere. Proposition du remplacement d'un éditeur en chef adjoint de COCV.

Projet de publication de codes : une réflexion est en cours et plusieurs aspects (tailles des codes, exécution distante) restent incertains.

Accord du bureau concernant le contrat avec le VVF pour le congrès SMAI 2005 à Evian.

Détermination de l'ordre du jour du CA du 18 juin.

Compte-rendu du conseil d'administration de la Smai du 18 juin 2004

Présents : M. Asch, J.-M. Azais, M. Bergounioux, A. Blouza, M. Bossy, D. Chapelle, P. Chenin, J.-M. Crolet, M. Esteban, S. Jaffard, E. Godlewski, J. Istas, S. Jaffard, S.M. Kaber, P. Lascaux, C. Le Bris, Y. Maday, C. Picard, A. Prignet, B. Prum, C. Saguez, M. Théra.

Représentés : J.-M. Bonnisseau, M. Briane, T. Colin, P. Spiteri.

Après une présentation des membres du CA, tour de table au sujet de l'élection du futur président.

Président : Y. Maday (14 voix, C. Saguez 9 voix, 3 abstentions).

Trésorier : A. Prignet (unanimité moins 3 abstentions).

Trésorerie adjointe : C. Picard (unanimité moins 1 abstention).

Secrétaire : M. Esteban (unanimité moins 1 abstention).

Vice-président Publications : J. Istas (unanimité moins 1 abstention).

Vice-président Industrie : P. Lascaux (unanimité moins 2 abstentions).

Vice-président Enseignement : J.-M. Bonnisseau (unanimité).

Vice-président Relations extérieures : M. Théra (unanimité moins 1 abstention).

Nominations : Rédacteur en chef adjoint COCV : F. Bonnans (unanimité moins 1 abstention). Rédaction en chef PS : S. Cohen et F. Gamboa (unanimité).

Tarif adhésions : inchangé (unanimité) (une réduction des dépenses pour la fabrication de Matapli va être mise en place)

Questions diverses : le CA remercie J.-C. Nédelec pour son analyse de la situation de la recherche en mathématiques et souhaite que cette contribution permette l'ouverture d'un débat sur le rôle et la place des mathématiques appliquées.

BILAN DE LA SESSION 2004 DU CNU SECTION 26

par le bureau de la Section – septembre 2004

I — PRÉSENTATION DU CNU

Un nouveau Conseil National des Universités (CNU) a été mis en place à la fin de l'année 2003. Il est composé pour 2/3 de membres élus et pour 1/3 de membres nommés. Il est en place pour quatre années. La section 26 du Conseil est chargée du domaine « mathématiques appliquées et applications des mathématiques », qui représente la moitié des mathématiques universitaires françaises. Cette section est composée de la façon suivante :

1. Bureau

Emmanuel LESIGNE (PR, univ. de Tours) , président.
François GOLSE (PR, univ. Paris 7), vice-président.
Bernard GLEYSE (MCF, insa de Rouen), vice-président.
Olivier RAIMOND (MCF, univ. Paris 11), assesseur.

2. Autres membres du « bureau élargi »

(Le conseil s'est doté d'un bureau élargi pour compléter et équilibrer les représentations sous-disciplinaires.)

Collège A.

Grégoire ALLAIRE (univ. Paris 6), Anestis ANTONIADIS (univ. Grenoble 1), Marie-Jeanne PERRIN (IUFM de Lille).

Collège B.

Jean-Noël CORVELLEC (univ. Perpignan), Olivier GIPOULOUX (univ. de St Etienne), Mustapha RACHDI (univ. Grenoble 2).

3. Autres membres du Conseil

Collège A.

Rémi ABGRALL (univ. Bordeaux 1), Jean BERTOIN (univ. Paris 6), Jean-Marc BONNISSEAU (univ. Paris 1), Guy BOUCHITTÉ (univ. de Toulon), Philippe CARMONA (univ. de Nantes), Catherine HUBER (univ. Paris 5), Brigitte CHAUVIN (univ. de Versailles-St Quentin), Albert COHEN (univ. Paris 6), Patrick COMBETTES (univ. Paris 6), Alain DAMLAMIAN (univ. Paris

"BilanCNU" — 18/11/2004 — 17:17 — page 18 — #2

12), Paul DEHEUVELS (univ. Paris 6), Jean DELLA DORA (INP Grenoble), Jean-Claude FORT (univ. Toulouse 3), Sylvie MÉLÉARD (univ. Paris 10), Serge NICAISE (univ. de Valenciennes), Dominikus NOLL (univ. Toulouse 3), Jean-Michel POGGI (univ. Paris 5), Eric SONNENDRUCKER (univ. Strasbourg 1), Bernard YCART (univ. Paris 5).

Collège B.

Samir ADLY (univ. de Limoges), Samir AKESBI (univ. de Mulhouse), Michèle ARTAUD (IUFM d'Aix- Marseille), Thierry ASTRUC (univ. de Toulon), Franck BOYER (univ. Aix-Marseille 1), Jérôme DRONIOU (univ. Montpellier 2), Olivier GLASS (univ. Paris 6), Céline GRANDMONT (univ. Paris 9), Armelle GUILLOU (univ. Paris 6), Françoise ISSARD-ROCH (univ. Paris 11), Alain HUARD (INSA de Toulouse), James LEDOUX (INSA de Rennes), Marcel MONGEAU (univ. Toulouse 3), Elias OULD SAID (univ. du Littoral), Jean-François PETIOT (univ. Bretagne Sud, IUT de Vannes), Dinah ROSENBERG (univ. Paris 13), Frédéric ROUSSET (univ. de Nice), Ellen SAADA (univ. de Rouen), Jérôme SARACCO (univ. Montpellier 2).

4. Rôle du CNU

Le CNU assure des tâches suivantes :
- établissement des listes des personnes qualifiées aux fonctions de maître de conférences (MCF) et aux fonctions de professeur des universités (PR) ;
- choix des collègues promus par la voie nationale : promotions à la hors-classe des MCF, à la première classe des PR, et à chacun des échelons de la classe exceptionnelle des PR. (Le nombre de promotions offertes étant fixé par le ministère.) ;
- attribution de congés pour recherche ou conversion thématique (semestres ou années sabbatiques) ;
- reclassements : examen des demandes de validation de service d'enseignement et de recherche effectués à l'étranger, pour prise en compte dans l'ancienneté ;
- avis sur les dossiers d'intégration d'assistants dans le corps des MCF.

Le CNU se réunit deux fois par an : une fois vers le mois de février pour les qualifications et une fois vers le mois de mai pour les promotions et les autres sujets.

II — QUALIFICATIONS : BILAN 2004

1. Qualifications aux fonctions de maître de conférences

Le nombre de candidats inscrits était de 463. Le nombre de dossiers non parvenus aux rapporteurs est de 76. Sur les 387 dossiers examinés, 259 candidats

ont été qualifiés (soit 67 %, à comparer à 60 % en 2003 et 66 % en 2002). Environ les trois-quarts des refus de qualification sont justifiés par une inadéquation de la candidature au domaine disciplinaire recouvert par la section.

Comme les années passées, deux repères importants ont été utilisés dans l'évaluation des dossiers, en particulier pour les candidats dont le parcours ne s'inscrivait pas de façon canonique dans les thématiques de la section.

1. L'aptitude à enseigner les mathématiques.
2. L'activité scientifique. Dans les domaines d'application des mathématiques, cette activité ne doit pas se limiter à une description de modèles classiques et une utilisation de méthodes et algorithmes éprouvés. L'évaluation prend en compte l'apport méthodologique, la mise en place de modèles originaux, le développement de nouveaux algorithmes, la validation par des applications réalistes.

Recommandations aux candidats (et aux directeurs de thèse).

Le dossier de candidature doit faire apparaître clairement :
– la capacité à enseigner les mathématiques dans un cursus de licence de maths ;
– un travail de recherche en mathématiques appliquées. L'utilisation d'un outil mathématique standard dans un travail de recherche relevant d'une autre discipline ne semble pas suffisant à lui seul pour la qualification en section 26 ;
– une activité liée à la recherche en mathématiques appliquées dans la période précédant la demande de qualification.

Le dossier de candidature doit être présenté avec soin et clarté. Nous demandons que les rapports préalables à la soutenance de thèse de doctorat soient joints au dossier (quand ils existent et sont publics, ce qui est le cas des doctorats français). Le dossier doit contenir un CV détaillé, les références complètes des travaux du candidat, et au minimum quelques-uns de ceux-ci.

La présence d'une publication dans une revue à comité de lecture n'est pas exigée pour les thèses récentes. Mais elle représente un élément d'appréciation décisif pour les thèses plus anciennes. La publication d'un article en seul auteur, ou sans son directeur de thèse, peut être un élément positif d'appréciation.

En ce qui concerne les dossiers relevant pour une grande part d'une autre discipline que les mathématiques (informatique, biologie, physique, mécanique, traitement du signal,...), le dossier doit faire clairement apparaître la contribution du candidat dans le domaine des mathématiques appliquées. Pour les candidats titulaires d'un doctorat récent, il est naturel d'attendre qu'un ou plusieurs membres du jury de thèse, et si possible un des rapporteurs, relèvent de la section du CNU dans laquelle le candidat demande la qualification. (Cette condition n'est bien sûr pas absolue).

Enfin, signalons l'existence de guides édités par les sociétés savantes (livret du candidat SMF-SMAI, voir `www.emath.fr`) qui donnent des conseils très utiles aux candidats sur les postes universitaires.

2. Qualifications aux fonctions de professeur

Le nombre de candidats inscrits était de 123. Le nombre de dossiers non parvenus aux rapporteurs est de 18. Sur les 105 dossiers examinés, 77 candidats ont été qualifiés soit 73 %, stable par rapport aux années précédentes). Environ les deux-tiers des refus de qualification sont justifiés par une inadéquation de la candidature au domaine disciplinaire recouvert par la section.

Les points essentiels examinés dans un dossier de candidature à la qualification aux fonctions de professeur sont les suivants :
- la capacité à enseigner les mathématiques dans un cursus de Master de maths ;
- un travail de recherche significatif en mathématiques appliquées, avec une activité avérée dans la période récente ;
- la démonstration d'une réelle autonomie scientifique ;
- l'aptitude à l'encadrement et à la direction de recherches.

Sur la base de ces critères, la majorité des dossiers examinés ne posaient aucun problème.

3. Commentaire

Que ce soit pour les MCF ou les professeurs, le nombre de nouveaux qualifiés est relativement stable ces dernières années, alors que le nombre de postes ouverts au concours MCF 26 est passé de 80 à 44 entre 1999 et 2004, et le nombre de postes ouverts au concours Prof 26 est passé de 40 à 26 pendant la même période. Suite à des redéploiements le nombre d'enseignants-chercheurs en mathématiques a diminué de façon sensible dans la période récente dans notre pays. Alors que la plus grande partie de la recherche mathématique française est effectuée dans les universités et que l'école mathématique française est reconnue pour sa qualité, cette situation est inquiétante pour l'avenir. Nous devons alerter les décideurs locaux et nationaux sur un risque de déclin qui serait dommageable à l'ensemble des sciences de notre pays.

III — PROMOTIONS : BILAN 2004

Pour les promotions, le CNU doit gérer la pénurie. Il ne fait aucun doute pour chacun des membres du Conseil que le nombre de promotions offertes est très faible par rapport au nombre de collègues pouvant légitimement y prétendre pour la qualité de leur travail scientifique, de leur investissement pédagogique

"BilanCNU" — 18/11/2004 — 17:17 — page 21 — #5

et des services rendus à la communauté dans l'administration de la recherche ou de leurs établissements.

Les dossiers de candidature à une promotion doivent contenir un descriptif de l'ensemble de la carrière (et non des trois dernières années, comme c'est demandé par l'administration). À côté du CV et de la liste complète des travaux (classés par type de publication), le dossier doit comporter des informations précises sur les activités pédagogiques, administratives, et les services rendus à la communauté universitaire.

Chaque dossier de candidature est examiné par deux rapporteurs du CNU, désignés par le bureau, après consultation du bureau élargi.

1. Promotions à la hors-classe des MCF

Nombre de promotions offertes : 12

Nombre de collègues promouvables : 283

Nombre de candidats : 121

Liste des promus :

ADELMAN Omer (Paris 6), ALCANTARA Barthélémy (Versailles), BENABDALLAH Assia (Aix-Marseille 1), BOURDARIAS Christian (Chambéry), CHALABI Abdallah (Toulouse 3), CHERIF Abdoul Aziz (IUFM Nice), DOISY Michel (INP Toulouse), FREUND Micael (Paris 4), MARTIN Daniel (Rennes 1), NOIRFALISE Robert (Clermont 2), TCHOU Nicoletta (Rennes 1), ZONE Daniela (Nice).

(Il y a dans cette liste une promotion « en voie 2 ». La voie 2 concerne les collègues de « petits établissements » dont la promotion n'est examinée qu'au niveau national. C'est le cas dans les IUFM.)

Pour les promotions à la hors-classe, le CNU examine l'ensemble d'une carrière de MCF. À côté du travail de recherche et de l'activité d'enseignant, un investissement particulier dans le domaine pédagogique ou au service de la communauté scientifique est apprécié. Un objectif de ces promotions étant d'offrir une fin de carrière valorisée à des collègues méritants, le CNU est vigilant à une juste répartition des âges des collègues promus.

L'âge moyen des promus est 54 ans. Les âges s'étendent de 45 à 64.

2. Promotions à la première classe des PR

Nombre de promotions offertes : 13

Nombre de collègues promouvables : 270

Nombre de candidats : 166

Liste des promus :

AMIRAT Youcef (Clermont 2), BEN ABDALLAH Naoufel (Toulouse 3), CLERC (ép. BERGOUNIOUX) Marie (Orléans), DIAS Frédéric (ENS Cachan), FERNANDEZ Roberto (Rouen), LAVIELLE Marc (Paris 5), LIMNIOS Nikolaos (Compiègne), MOHAMMADI Bijan (Montpellier), MOKKADEM Abdelkader (Versailles), PRIVAULT Nicolas (La Rochelle), QUINCAMPOIX Marc (Brest), VILLANI Cédric (ENS Lyon), WU Liming (Clermont 2).

(Il y a dans cette liste une promotion « en voie 2 ». La voie 2 concerne les collègues de « petits établissements » dont la promotion n'est examinée qu'au niveau national. C'est le cas à l'ENS Lyon.)

Pour l'examen des promotions à la première classe des professeurs, le CNU dégage de chaque dossier de candidature les éléments suivants :
– domaine scientifique, âge et ancienneté comme professeur,
– faits marquants de la carrière, distinctions scientifiques,
– responsabilités diverses (direction d'équipe, de projet ou d'établissement, responsabilités pédagogiques, activités éditoriales, appartenance à différentes commissions,...),
– activité scientifique (nombre et qualité des publications, communications),
– valorisation de la recherche, collaborations extra-mathématiques,
– encadrement doctoral (thèses encadrées et devenir des docteurs).

Les candidats sont invités à mettre clairement ces éléments en avant dans leurs dossiers.

Le CNU veille à une répartition équilibrée des sous-disciplines (analyse des EDP et analyse numérique, calcul scientifique, didactique, optimisation, probabilités, statistiques) qui n'exclut pas les dossiers transversaux ou atypiques.

L'âge moyen des promus est 43 ans. Les âges s'étendent de 30 à 55.

3. Promotions au 1er échelon de la classe exceptionnelle des PR

Nombre de promotions offertes : 4

Nombre de collègues promouvables : 201

Nombre de candidats : 80

Liste des promus :

COTTET Georges Henri (Grenoble 1), MERLE Frank (Cergy), ROYNETTE Bernard (Nancy), THERA Michel (Limoges).

L'âge moyen des promus est 54 ans. Les âges s'étendent de 41 à 59.

4. Promotions au 2nd échelon de la classe exceptionnelle des PR

Nombre de promotions offertes : 4

Nombre de collègues promouvables : 29

Nombre de candidats : 20

Liste des promus :

BLUM Jacques (Nice), BOSQ Denis (Paris 6), CHARRIER Pierre (Bordeaux 1), PUEL Jean-Pierre (Versailles).

L'âge moyen des promus est 58 ans. Les âges s'étendent de 53 à 64.

5. Analyse rapide par genres

Parmi les MCF promouvables à la hors-classe, 27 % sont des femmes, et elles représentent la même proportion parmi des candidats (et 25 % des promus).

Parmi les PR en 2nde classe, 14 % sont des femmes, et elles représentent 12 % des candidats (et 1 promu sur 13).

Dans les deux corps, on n'observe donc pas d'autocensure significativement plus importante chez les femmes que chez les hommes. La proportion de femmes parmi les promus devra être analysée sur un bilan pluri-annuel.

IV — CONGÉS POUR RECHERCHE OU CONVERSION THÉMATIQUE : BILAN 2004

(Un changement de procédure est à signaler : à partir de cette année les demandes de CRCT non satisfaites au niveau du CNU pourront être examinées au niveau local et être obtenues sur le contingent accordé à chaque établissement.)

Nombre de semestres offerts : 8.

Nombre de demandes : 8 pour 1 semestre, 21 pour 2 semestres.

Le CNU propose d'accorder un semestre de CRCT à :

ANTOINE Xavier (Toulouse 3), DURAND (ép. GUERRIER) Viviane (IUFM Lyon), DURET (ép. MILLET) Annie (Paris 1),GRAMMONT (ép. FEDORIW) Laurence (St Etienne), KAVIAN Otared (Versailles), LE JAN Yves (Paris 11), LEWANDOWSKI Roger (Rennes 1), TOMALA Tristan (Paris 9).

Espérant se voir accorder quelques semestres supplémentaires le CNU propose la liste complémentaire suivante (pour un semestre chacun) :

1. BUTUCEA (ép. RIO) Cristina (Paris 10).
2. LAMBERTON Damien (Paris 12).
3. MAZET Olivier (INSA Lyon).
4. CORNET Bernard (Paris 1).
5. DELCROIX Antoine (IUFM Guadeloupe).
6. FAN Ai Hua (Amiens).

7. FOURATI Sonia (INSA Rouen).
8. KAVIAN Otared.
9. RENAULT Jérôme (Paris 9).
10. DURET (ép. MILLET) Annie.
11. TOMALA Tristan .
12. LEWANDOWSKI Roger.

Dernière nouvelle (10 septembre 2004) : le ministère a bien trouvé dans ses tiroirs quelques semestres supplémentaires, et les demandes des huit premiers classés de cette liste complémentaire ont été satisfaites. Bilan final : 14 semestres et une année de CRCT ont été obtenus.

V — INTÉGRATION DES ASSISTANTS DANS LE CORPS DES MCF

Cette procédure nationale est gérée par une commission regroupant l'ensemble des disciplines, après avis du CNU sur les dossiers. 250 emplois de MCF étaient ouverts cette année pour des assistants. Il y avait 422 candidats, toutes sections confondues. Parmi les 18 candidats de 26^{e} section, la commission en a retenu 14, dont les noms suivent.

BERLAN épouse PHILIP Claude, BOUDIN épouse DUNAU Marie-Françoise, BROUARD Guy, CARBONNEL épouse BOULAIRE Marie-Claude, CORBEL Pierre, DAUBIN Pascal, GIAMARCHI Marcel, LEGRIS Laurent, PARES François, ROSENFELD Henri, ROY Elisabeth, TOURNADOUR Yvonne, TRICOT Guy, VERCASSON Alexandre.

Les membres de la commission nous ont transmis la recommandation suivante : les dossiers doivent être bien préparés ; ils doivent contenir au minimum un CV et un document mentionnant le nombre d'heures de cours, de TD ou de TP effectuées par an au moins pour les dernières années.

LA VIE DE LA COMMUNAUTÉ

par Rachid Touzani

CHERCHEURS INVITÉS

Université Antilles-Guyane, Laboratoire Analyse, Optimisation, Contrôle

Julian Revalski, Septembre 2004 – Juin 2005
Académie Bulgare des Sciences,
Bulgarie
Spécialité : Analyse variationnelle, Optimisation
Contact : Marc Lassonde, `Marc.Lassonde@univ-ag.fr`

Université d'Avignon

René Henrion, 6 Novembre – 3 Décembre 2004
Institut Weierstrass, Berlin,
Allemagne
Spécialité : Optimisation, Analyse multivoque
Contact : Alberto Seeger, `alberto.seeger@univ-avignon.fr`

Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, Laboratoire de Mathématiques

Feng-Yu Wang, Octobre – Décembre 2004
Université Normale de Pekin
Spécialité : Inégalités en Probabilités et en Analyse
Contact : Yue-Jun Peng, `Yue-Jun.Peng@math.univ-bpclermont.fr`

Karl Kunisch, Décembre 2004
Université de Graz, Autriche
Spécialité : Problèmes inverses. Contrôle optimal
Contact : Rachid Touzani, `Rachid.Touzani@math.univ-bpclermont.fr`

Shu Wang, Janvier 2005
College of Sciences, Beijing
University of Technology
Spécialité : Équations aux dérivées partielles
Contact : Yue-Jun Peng, `Yue-Jun.Peng@math.univ-bpclermont.fr`

Jacques Rappaz, Juin 2004
École polytechnique Fédérale de
Lausanne, Suisse
Spécialité : Analyse numérique des équations aux dérivées partielles
Contact : Rachid Touzani, Rachid.Touzani@math.univ-bpclermont.fr

Université Claude Bernard, Lyon, Laboratoire MAPLY

Buscaglia Gustavo,Université Bariloche, Mars – Mai 2005
Argentine
Spécialité : Modélisation , calcul scientifique
Contact : Guy Bayada, Guy.bayada@insa-lyon.fr

Université François Rabelais, Tours, Lab. de Math. et Physique Théorique

Andrey Shishkov, Septembre – Novembre 2004
Institut de Mathématiques et de
Mécanique, Donetsk, Ukraine
Spécialité : Équations de diffusion non linéaires
Contact : Laurent Véron, veronl@univ-tours.fr

Université Paris Dauphine, CEREMADE

Marco Scarsini, Printemps 2005
Université de Turin, ITALIE
Spécialité : Théorie de la décision, Théorie des jeux
Contact : Thristan Tomala, tomala@ceremade.dauphine.fr

Mergersen Kerrie, Décembre 2004 – Janvier 2005
Université Brisbane, Australie
Spécialité : Statistiques Bayesiennes, MCMC, Statistique génomique
Contact : Christian Robert, xian@ceremade.dauphine.fr

Guido Consonni, Novembre 2004
Université de Pavia, Italie
Spécialité : Statistiques Bayesiennes, modèles graphiques, théorie de la décision
Contact : Jean–Michel Marin, marin@ceremade.dauphine.fr

Université de Picardie Jules Verne (Amiens), LAMFA, CNRS UMR 6140

Hassan Al Moatassime, 22 novembre – 22 décembre 2004
Université Cadi Ayyad, FST de Marrakech (Maroc)
Spécialité : Calcul Scientifique
Contact : Olivier Goubet, olivier.goubet@u-picardie.fr

Vicentiu Radulescu, Février 2005
Université de Craiova (Roumanie)
Spécialité : EDP, Analyse non-linéaire
Contact : Olivier Goubet, olivier.goubet@u-picardie.fr

NOMINATIONS ET PRIX

Albert Cohen - Prix Blaise Pascal

Albert Cohen, né le 29 juin 1965, est admis en 1984 à l'ENS-Ulm et à l'École polytechnique. Il choisit cette dernière, puis s'engage dans la recherche. Il soutient sa thèse en 1990, son habilitation en 1992, est nommé professeur à l'ENSTA de 1993 à 1995, puis à l'université Pierre et Marie Curie en 1995 et devient membre junior de l'IUF de 1998 à 2003. Albert Cohen a été conférencier invité au congrès international des mathématiciens de Pekin, en 2002.

La thèse d'Albert portait sur le « programme de Mallat ». Il s'agissait de savoir sous quelles conditions un couple de deux filtres 'miroir en quadrature' engendre une base orthonormée d'ondelettes. Albert fournit des conditions nécessaires et suffisantes. Ensuite Albert partit travailler avec Ingrid Daubechies aux laboratoire Bell-AT&T à Murray Hill. Cette année de post-doc sera décisive, car Albert et Ingrid ont écrit une quinzaine d'articles en collaboration et leur travail a débouché sur le nouveau standard de compression des images fixes (JPEG-2000).

Albert trouva un remarquable environnement scientifique et humain au laboratoire d'analyse numérique de Paris VI. Dans ces mêmes années Albert fit la connaissance de Ron De Vore et s'engagea résolument dans la recherche d'algorithmes adaptatifs en EDP. Il s'agit d'algorithmes dont la précision $\epsilon(N)$ (évaluée en fonction du nombre N de paramètres utilisés pour décrire les données du problème) est asymptotiquement comparable à la précision optimale que l'on obtiendrait si la solution du problème était connue et que notre seule tâche soit de l'approximer à l'aide de N paramètres sur une grille idéalement adaptée (ou un ensemble d'ondelettes idéalement adaptées). Albert résout ce problème pour les EDP elliptiques et expose ses découvertes dans « Numerical Analysis of wavelet methods », ouvrage de référence qui est publié en 2003 chez North-Holland.

Aujourd'hui les recherches menées par Albert concernent la théorie de l'apprentissage (avec R. De Vore et W. Dahmen), la compression des images sous

ses aspects mathématiques et algorithmiques (avec I. Daubechies et B. Matei) et les statistiques (avec D. Picard et G. Kerkyacharian).

Albert aime apprendre, voyager, rencontrer et partager. Généreux et passionné, il a su se faire des amis un peu partout dans le monde.

NÉCROLOGIE

Frédéric Poupaud, professeur à l'université de Nice et membre de la SMAI, est décédé le 13 octobre 2004 à l'âge de 43 ans. Un groupe de collègues et amis ont préparé en son hommage le texte suivant.

Notre collègue Frédéric Poupaud est décédé ce mercredi 13 octobre 2004. Né le 7 juin 1961, ancien élève de l'ENS de Cachan, agrégé de mathématiques, Frédéric soutient une thèse sur l'analyse des équations de Boltzmann en 1988 à l'École polytechnique sous la direction de Jean-Claude Nédelec. Ses premiers collaborateurs sont alors Pierre Degond, François Golse et Sylvie Mas-Gallic. Aussitôt chargé de recherches par le CNRS, il s'installe à Nice en 1988, au laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné. Honoré de la médaille de bronze du CNRS en 1992, il devient professeur de l'université de Nice Sophia-Antipolis en 1994, et dirige le laboratoire Dieudonné pendant quatre ans à partir de 1999. Frédéric était un mathématicien de grande classe, expert de l'analyse mathématique des équations de la physique (Boltzmann, Dirac, Maxwell, Vlasov…). Plusieurs de ses travaux sont dorénavant des « classiques », notamment, pour ne citer qu'un exemple, celui, en collaboration avec Patrick Gérard, Peter Markowich et Norbert Mauser, sur l'application des transformées de Wigner à l'analyse asymptotique des équations aux dérivées partielles. Toujours conscient de l'importance de l'application des mathématiques aux problèmes technologiques, il était conseiller scientifique du Cermics et de l'INRIA, à Sophia-Antipolis. Conformément à sa réputation mondiale, Frédéric ne manquait jamais de collaborateurs, ni à Nice, ni ailleurs en France, ni à l'étranger (en particulier en Autriche, en Espagne et aux États-Unis, où il comptait plusieurs amis très proches). Outre son dévouement constant à la communauté scientifique (appartenance au CNU, direction d'UMR, gestion de contrats, nombreuses expertises) et à l'enseignement, Frédéric était un directeur de recherches remarquable, toujours prompt à accueillir et encadrer les nouveaux venus au laboratoire, ATER, maitres de conférences et chercheurs. Sous sa direction, pas moins de neuf thèses ont été soutenues à Nice entre 1994 et 2003. Enfin, Frédéric était unanimement apprécié de tous ceux qui ont eu l'occasion de l'approcher, par sa générosité, sa gentillesse, sa bonne humeur et ses rires qu'on n'oubliera pas. C'est avec la plus grande tristesse que nous nous associons à la douleur de sa famille, de son épouse et de ses trois jeunes enfants. Le souvenir de Frédéric Poupaud restera toujours dans nos coeurs.

LES SYSTÈMES DE CALCUL DISTRIBUÉ À LARGE ÉCHELLE : ARCHITECTURE D'XTREMWEB, MODÈLES DE PROGRAMMATION, SÉCURITÉ, TESTS ET CONVERGENCE AVEC LES GRIDS

par Franck Cappello [*], Samir Djilali, Gilles Fedak, Thomas Herault, Frédéric Magniette, Vincent Néri [†] et Oleg Lodygensky [‡]

Ceci est un résumé (et une traduction) d'un article paru dans Future Generation Computer Systems journal (`www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505611/description`).

Résumé

Les systèmes de Calcul Global sont un sous-ensemble des systèmes distribués à grande échelle. Leurs potentiels en termes de calcul, de stockage et de communication, ainsi que leur flexibilité sont à la base de l'intérêt que leur portent les institutions industrielles et académiques qui y voient un complément à des infrastructures plus classiques comme les clusters ou les super calculateurs. Cependant, généraliser l'utilisation de tels systèmes implique de trouver des solutions et de proposer des mécanismes pour les intégrer dans des contextes de traitement par lots de tâches, de programmation par passage de message, où la sécurité des applications, du système lui même et des ressources participantes sont prépondérantes. Il convient aussi de résoudre élégamment le problème du déploiement. Dans ce papier, nous présentons nos travaux de recherche, souvent influencés par la demande des utilisateurs, qui ont abouti au développement d'XtremWeb, un système de calcul pair à pair. Nous décrivons l'architecture du système et ses motivations ; les concepts de programmation parallèle ainsi que leur implementation dans XtremWeb ; les problèmes de déploiement et de gestion des ressources distribuées ; les problèmes de sécurité et les solutions proposées par XtremWeb.Afin d'évaluer les performances et la tolérance aux pannes du système, nous présentons des résultats expérimentaux pour des sacs de tâches, ainsi que pour des applications à passage de messages. Nous montrons que le système peut tolérer des fautes massives et nous discutons des performances du mécanisme de protection des ressources. Se basant sur le projet XtremWeb et ses évolutions, nous concluons sur une convergence possible entre les Grids et les systèmes de calcul global.

[*]INRIA, LRI, Université de Paris Sud, Orsay, France
[†]LRI, Université de Paris Sud, Orsay, France
[‡]LAL, Université de Paris Sud, Orsay, France

I — INTRODUCTION

En septembre 1999, pour une équipe telle que la nôtre, habituée à travailler sur des super calculateurs ou des clusters multi processeurs, si le projet Seti@Home ne manquait pas de nous interpeller, il nous laissait sceptiques. Cette nouvelle approche de l'informatique distribuée, qu'on appelait déjà le Calcul Glocal (GC), semblait orthogonale au Grid, une idée émergeante et prometteuse, poussée par les plus grandes équipes de recherche. Ce scepticisme a été à la base du projet XtremWeb : comprendre les limites d'une telle approche afin d'en proposer des solutions.

1. Les systèmes distribués a grande échelle

Un apport essentiel des projets comme Seti@Home en comparaison à d'autres systèmes antérieurs est la taille de la plate-forme qui change à elle seule les mécanismes à mettre en œuvre. Il faut considérer, par exemple, que la volatilité des ressources est une composante à part entière d'une telle plate-forme ; leurs taux et leurs temps de connexion sont imprévisibles. La plate-forme est donc considérée complètement asynchrone : on ne peut a priori définir de limite aux transferts de message. Il est donc impossible de détecter une erreur, ni de définir un consensus sur une telle plate-forme [21]. Un autre exemple de mécanisme impliqué par ces plate-formes est l'absence complet de contrôle des ressources et du réseau. Il est impossible de décider des contributions des différentes ressources et il faut donc que la plate-forme puisse se réorganiser dynamiquement.

2. Les systèmes de Calcul Global (GC)

Les GC ont émergés en proposant d'étendre la notion de vol de cycles au delà des domaines administrés. Le premier papier traitant du vol de cycles [47] présentait plusieurs aspects essentiels (auto réplication, migration de code, coordination distribuée…). Cette notion de vol de cycles a intéressé beaucoup de monde : Condor [31], Glunix [25] et Mosix [7] pour n'en citer que quelques uns. Des projets de calcul sur le Web ont proposé de dépasser les domaines d'administration : Jet [35], Charlotte [8], Javeline [14], Bayanihan [42], SuperWeb [3], ParaWeb [12] et PopCorn [33]. Ces projets ont su tirer parti du langage Java et de sa machine virtuelle : portabilité (indépendance de l'architecture matérielle et logicielle), large engouement (tous les butineurs Web intègrent une machine virtuelle Java) et un modèle de sécurité bien implémenté. Les performances et les fonctionnalités limitées ont toutefois été des motivations à l'émergence de nouveaux projets (COSM [2], BOINC [5] et XtremWeb [20]).

Les potentiels de telles plate-formes sont si prometteurs que des compagnies privées (Entropia, United Devices, Platform, Grid Systems ou encore Datasy-

napse) proposent aujourd'hui des solutions souvent designées sous le terme de Desktop Grid ou PC Grids Systems qui sont achetées par des utilisateurs toujours plus nombreux qui cherchent à mieux utiliser leurs ressources de calculs.

Les systèmes GC ont un objectif commun avec les Grid : dépasser les limites d'une administration pour augmenter les capacités de calcul. Dans [22], les auteurs présentent les similitudes et différences entre les Grids et les systèmes GC, et insistent sur deux paramètres : la communauté des utilisateurs (professionnelle ou non) et celle des possesseurs des ressources. Du point de vue de l'architecture nous considèrerons, dans la suite de ce papier, deux différences principales : la taille du système et la gestion de ses ressources. Ces deux aspects ont des conséquences sur l'architecture, les méthodes de déploiement, les modèles de programmation et plus généralement sur les propriétés théoriques que le système peut atteindre.

Un système GC multi utilisateurs/multi applications devrait ressembler à un système pair à pair (P2P) d'échange tel que Napter [19], Kazaa ou Gnutella [43], hormis que la ressource partagée serait le CPU et non des fichiers, en intégrant, comme tout système d'échange, des mécanismes de découverte et de mise en relation de ressources, des protocoles de communications bas niveau, etc.

La structure de ce papier est la suivante. Le chapitre qui suit présente l'architecture d'XtremWeb et son implémentation. Le chapitre III présente les interfaces de programmation pour les systèmes GC que ainsi des résultats d'expérimentation de calculs RPC et MPI sur XtremWeb. Les problèmes de sécurité, ainsi que leurs solutions proposées par XtremWeb sont présentés dans le chapitre IV. Le dernier chapitre, V, présente les leçons que nous avons tirés d'XtremWeb et les perspectives de convergence avec le Grid.

II — XTREMWEB

L'objectif principal d'XtremWeb est d'étudier dans quelle mesure un système distribué à large échelle (*LSDS*) peut être vu et utilisé comme un ordinateur parallèle standard, tant pour les utilisateurs, les programmeurs que les administrateurs. XtremWeb entre dans la catégorie des projets de recherche autour des Grid et des efforts de standardisation des services Grids [24].

Dans ce chapitre, nous présentons XtremWeb-v1. Cette version propose de répondre aux contraintes des LSDS telle que la volatilité, l'hétérogénéité et la sécurité. Son architecture modulaire, basée sur des services, facilite l'implémentation et le déploiement.

XtremWeb, une plate-forme GC multi utilisateurs, multi applications, dédiée à la recherche aussi bien qu'à la production, ne se contente pas de proposer des solutions aux problèmes posés par les LSDS. Elle offre aussi aux program-

meurs d'applications parallèles une solution raisonnable en termes de complexité.

La sécurité est un point primordial et particulièrement difficile dans le contexte des LSDS dans la mesure où il est impossible d'être confiant quant aux centaines de ressources partagées. Un premier problème est la sécurité des ressources elles-mêmes. Une application agressive ne doit pas être en mesure de corrompre les ressources ; il convient donc d'être prudent si des applications binaires doivent être exécutées. Un autre problème est la certification des résultats dans la mesure où il est impossible de contrôler le comportement des ressources ; une ressource pourrait alors facilement introduire des résultats erronés. Le chapitre 1 traite de la sécurité des ressources.

Services Aujourd'hui la notion de service Grid [24] est un concept répandu pour standardiser les composants dans un système distribué. Un service est une entité auto descriptive, dynamiquement publiée, que l'on peut allouer et retirer à la demande, et qui est gérable à distance. L'effort de standardisation utilise les standards des Web Services [1] (WSDL, SOAP, UDDI...). Une plate-forme GC typique regroupe un ensemble de *clients* qui soumettent des jobs à un *coordinateur* afin qu'il les fasse exécuter sur des ressources disponibles à cet effet (les *workers*). Ce coordinateur peut être implémenté en terme de services : le service *coordinateur* publie les services *applicatifs* afin que les services *clients* puissent y accéder et en demander des exécutions (des *instances* de jobs) qui seront distribuées sur des services *workers* qui les exécutent et retourne les résultats au *coordinateur*. Ce dernier les publie pour les *clients* qui peuvent les récupérer à la demande.

Le *coordinateur* peut lui même être décomposé en sous-services : un scheduler, un serveur de données ainsi qu'une fabrique de services qui peuvent être décentralisés.

1. L'architecture d'XtremWeb

XtremWeb propose de résoudre les problèmes inhérents aux LSDS, dans un environnement basé sur les services.

La figure 1 présente l'architecture générale formée de quatre couches principales pour un total de sept couches. La première couche permet d'agréger des ressources afin de construire un cluster distribué volatile. La seconde utilise ces ressources pour obtenir un cluster virtuel non volatile ; elle présente à la troisième couche un nombre de ressources inférieur ou égal à celui fourni par la permière couche afin de créer une plate-forme GC générique. La quatrième couche déploie des modules d'exécution pour des environnements parallèles tels que *Master/Worker* ou *MPI*. Les applications s'exécutent au dessus de cette dernière.

XtremWeb n'implémente qu'une partie de cette architecture dans sa version

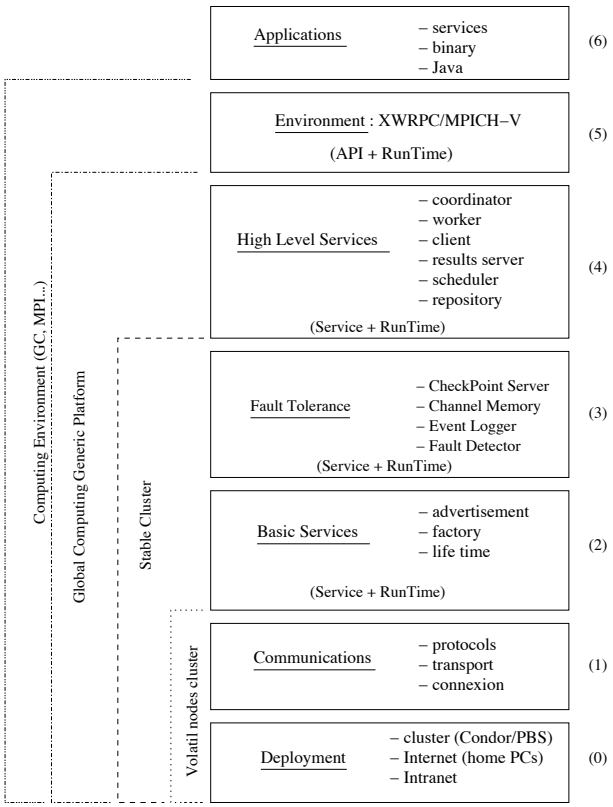


FIG. 1 – Un environnement par couches pour LSDS incluant la tolérance aux pannes.

actuelle qui permet à des clients de soumettre des tâches exécutées sur des workers selon une architecture trois-tiers :

1. un service de coordination connecte des clients aux workers,
2. un ensemble de mécanismes de sécurité basé sur des décisions automatiques,
3. une tolérance aux pannes pour répondre à la mobilité des clients, la volatilité des workers et les pannes du coordinateur.

Cette architecture trois-tiers interpose un agent entre les clients et les workers, le coordinateur, qui coordonne la bonne exécution des jobs en prenant en charge les requêtes des clients pour les instancier sur les workers et s'assurer de leur bonne exécution malgré les fautes éventuelles de ces derniers. Il se charge ensuite de collecter les résultats pour les retourner aux clients. Un tel coordinateur n'est pas forcément centralisé, il peut être architecturé autour de services distribués.

2. Quelque clés de l'implémentation d'XtremWeb

La volonté de répondre aux contraintes des utilisateurs d'une part, et la nécessité d'avancer vers un système tel que décrit ci-dessus ont mené à l'implémentation actuelle, pour le moment centralisée. Nous décrivons les couches de la figure 1 : le déploiement (couche 0), les communications (couche 1), les services de base (couche 2) et les services (couche 4). Quelques éléments de la couche 3 sont détaillés dans le chapitre III relatif à l'environnement de programmation tolérant aux pannes.

2.*a Le déploiement*

Le déploiement concerne l'installation mais aussi la mise à jour du système tant sur un réseau local que sur des ordinateurs individuels connectés à la maison par ADSL. Avec XtremWeb ces problèmes concernent les clients et les workers uniquement puisque le coordinateur est centralisé.

Nous nous intéresserons ici au déploiement sur un cluster dans la mesure où XtremWeb peut apporter une grande grande souplesse d'utilisation et d'administration de clusters distribués si on lui délègue les droits adéquats ; les utilisateurs ne se connectent alors plus au différents clusters mais délèguent leurs droits au coordinateur pour les représenter. Le déploiement d'une telle plate-forme peut s'opérer en installant soit un coordinateur, soit un ensemble de workers, au niveau de chaque clusters.

2.*b Communications*

Les communications entre les différentes parties, qui incluent des appels de procédures à distance (*RPC*) et des transferts de données, sont basées sur un protocole en trois couches.

La première, *« connection »*, met en relation les différentes parties. Elle permet de passer les *firewalls* en ce sens que les workers et les clients initiant toute communication vers le dispatcher et vers lui uniquement seul le *firewall* de ce dernier doit être « ouvert ».

La seconde, *« transport »* assure des communications fiables en s'appuyant sur *TCP/IP*. La sécurité est assurée grâce à *SSL* pour crypter les messages et s'assurer de l'identité des participants.

La troisième, *« protocol »*, fait le lien avec différentes environnement de programmation (*API*) : *Java RMI* et *XML-RPC*.

2.*c Les services de base*

Devant l'impossibilité de prédire la disponibilité des ressources dans un LSDS, des services dynamiques doivent être mis en œuvre pour la publication,

la mise en relation, l'allocation et plus généralement la gestion des ressources. Typiquement il faut dynamiquement trouver les ressources disponibles pour les instancier à la demande et être capable de les réallouer en fonction des cycles de vie (*cf.* chapitre 2.d).

Quelques architectures proposent des sous-ensembles de ces services : OGSA [24] pour les Grid et Corba [34] pour les environnements d'objets distribués.

Nous décrivons ci-dessous les autres services nécessaires à une plate-forme GC.

2.*d Les services XtremWeb*

La première implémentation d'XtremWeb considère trois services principaux : le *client* pour la soumission de tâches, le *worker* pour l'instanciation et le *coordinateur* en tant qu'intermédiaire entre les deux premiers ; dans cette version d'XtremWeb, le *coordinateur* implémente plusieurs services (scheduler, serveur de résultats, fabrique d'applications).

L'architecture du coordinateur Ce *middle tiers*, centralisé, implémente un ensemble de services de coordination qui pourrait être distribués. Par exemple le service de découverte de ressource pourrait être une table de hashage distribuée (CAN [37], CHORD [49], PASTRY [38], TAPESTRY [50]). Cependant trois raisons ont guidé notre choix :

1. la complexité de développement,
2. il y a peu de résultats mettant en évidence des différences de performances entre architecture centralisée et distribuée,
3. des incertitudes théoriques. Il n'y a pour le moment pas de résultat théorique sur les classifications fondamentales de systèmes P2P.

Il est peu probable que leurs caractéristiques principales ((a) Internet comme réseau de communication et (b) la volatilité des ressources) en fassent des systèmes distribués asynchrones. En l'absence de tels résultats il est impossible de s'appuyer sur le *consensus* pour le développement de systèmes distribués.

Trois services composent le *coordinateur*. Le répertoire d'applications et de services assure le service de publication. Le *scheduler* implémente la fabrique des services et assure la cohérence des différentes tâches. Le serveur de résultats (couche 4) collecte les résultats et les distribue à qui de droit. Ces services travaillent conjointement autour d'une collection de tâches dont la consistence est assurée par un graphe d'état.

L'architecture du worker Quatre composants forment l'architecture du *worker*. Les tâches, qui sont le centre du moteur du worker, sont gérées selon un protocole producteur/consommateur entre le gestionnaire de communication et le lanceur. Chaque tâche peut être en attente d'exécution, en

cours d'exécution ou en cours de sauvegarde des résultats auprès du coordinateur. Une fois le résultat sauvegardé au niveau du coordinateur, ce dernier pourra demander à ce qu'elle soit supprimée du worker. Le gestionnaire de communication s'occupe des communications avec le coordinateur : récupération de nouvelles tâches, envoie des résultats. Le lanceur prend la première tâche prête, créée son environnement d'exécution et l'exécute. À la fin de l'exécution, il crée le fichier résultat à envoyer au coordinateur. Enfin, le moniteur d'activité contrôle l'utilisation du processeur en fonction de la politique d'activation choisie (utilisation CPU, activité clavier/souris...). Il peut demander l'interruption, l'exécution ou la réexécution de la tâche en cours.

L'architecture du client Le client est l'intermédiaire entre l'application utilisateur et la plate-forme GC. Il est implémenté sous forme de librairie pour interfacer l'application au coordinateur, associé à un *daemon* qui implémente 1) la sauvegarde locale des messages afin d'assurer la cohérence du protocole face aux pannes éventuelles et 2) la synchronisation avec le coordinateur en cas de connexion/déconnexion pour permettre l'utilisation d'un même client sur plusieurs machines.

III — L'INTERFACE DE PROGRAMMATION PARALLÈLE

Idéalement, les architectes d'un système GC devraient fournir un environnement de programmation (interfaces -ou *API*- et *runtimes*) proche des environnements standards tout en répondant à la spécificité des GC,
- implémentant des paradigmes de programmation classiques,
- proposant les interfaces de programmation standards,
- implémentant la gestion de l'hétérogénéité,
- proposant une exécution efficace à hautes performances,
- implémentant la gestion des fautes.

Bien qu'il soit attrayant, du point de vue de l'architecte de la plate-forme GC, de transférer la gestion des propriétés inhérentes aux GC (fautes, dynamicité...) en augmentant l'interface standard, une implémentation qui s'éloigne des standards de programmation complexifie le travail des développeurs d'applications en leur imposant de prendre en charge la gestion de la plate-forme. FT-MPI [17] est un exemple de cette approche.

Dans XtremWeb, nous avons décidé de nous conformer aux interfaces de programmation standards, en placant les gestions spécifiques aux GC dans le *runtime*. Nous nous conformons à l'architecture de la figure 1 en virtualisant un système dynamique et instable afin de proposer une plate-forme d'exécution stable.

1. RPCs concurrents

Le concept d'appel de procédure à distance (*RPC*)[29], qui existe depuis longtemps, est un moyen simple de faire communiquer des composants distribués. Un client peut demander l'exécution d'un ensemble de RPCs non bloquants à différents serveurs et en contrôler le bon déroulement. CondorMW [26] a été un des premiers environnements de programmation pour des application maitre/esclave. Les RPCs sont très populaires dans les Grid et plusieurs environnement de programmation ont été proposés : GridRPC [46] et OmniRPC [44], par exemple.

GridRPC popose de standardiser les mécanismes RPC pour les Grids. Deux systèmes de Grid, NetSolve [13] et Ninf [45], en proposent des implementations, mais ils ne sont pas destinés à répondre aux problèmes de volatilité, bien qu'un mécanisme de base ait été proposé pour NetSolve [36]. OmniRPC est une autre proposition d'un environnement de programmation RPC pour les Grids.

Avec XWRPC [16], l'implémentation RPC d'XtremWeb, le client traduit automatiquement les appels RPC en ordres compréhensibles par le coordinateur ; en retour, il empaquette les résultats XtremWeb pour l'application RPC. XWRPC gère les appels bloquants et non bloquants.

La plupart des travaux autour des RPC pour GC proposent des mécanismes RPC de haut niveau sans se préoccuper vraiment des problèmes de tolérance aux pannes, alors qu'ils ont fait l'objet d'études approfondies dans le cadre de systèmes d'objets distribués comme Corba. Une poposition élégante, FT-Corba [6], se base sur une architecture trois tiers, proche de celle exposée ici pour XtremWeb. FT-Corba suppose que le *middle tier* soit déployé sur un système pseudo synchrone afin d'en assurer la cohérence.

Notre implémentation du RPC tolérant aux pannes suit des contraintes expresses : transparence complète et automatique pour le client sur un système complètement asynchrone. Nos études se limitent donc à des exécutions sans états du côté du worker. Un RPC tolérant aux pannes doit assurer que tous les appels RPC soit correctement exécutés. Les sous-couches (4) et (5) de la figure 1 utilisent le détecteur de fautes imparfait de la sous-couche (3) pour arriver à un tel résultat. Dans un tel système, il est impossible d'obtenir un détecteur de fautes parfait qui suspecterait tous les process défaillants et eux seuls. De ce fait, notre implémentation peut être amenée à suspecter des process par erreur et demander des exécutions par abus, ce qui n'est pas grave mais dégrade les performances globales.

Pour des raisons de performances, la réplication est implémentée pour chaque entité (coordinateur, client, worker). Il se peut alors que les réplicats ne soient pas cohérents entre eux à tout instant. Dans ce schéma de tolérance au panne, une entité peut disparaître sans affecter l'intégrité du système, bien qu'en altérant les performances du RPC. Les exécutions pouvant être amenées à être

perdues et reprises par une autre ressource.

Afin de mettre en évidence les propriétés de tolérance aux pannes de XWRPC, nous présentons les résultats obtenus avec des exécutions de *NAS NPB 2.3 EP Benchmark - class C* (décomposé en 100 tâches de 15 secondes chacune) sur la plate-forme XtremWeb avec des PCs connectés sur un switch 100Mb/s. La figure 2 montrent les temps d'exécution sur 16 processeurs ou les fautes (temporaires ou non) sont générées artificiellement.

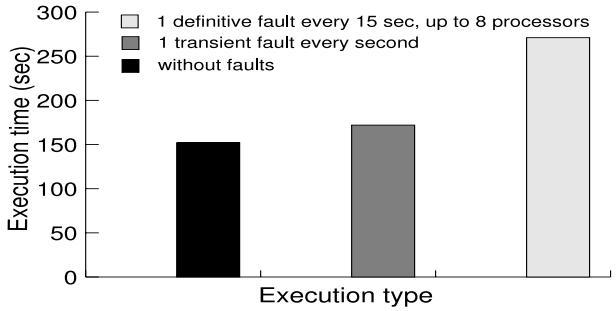


FIG. 2 – Execution du EP benchmark dans un environnement à fautes

Les fautes temporaires correspondent à des déconnexions des workers toutes les secondes pour une durée de 2 ou 3 secondes. Les fautes définitives correspondent à des déconnexions définitives ; 50% des workers ont généré de telles fautes. La figure 2 montre que l'application peut admettre un tel taux d'erreurs et que le temps total d'exécution est augmenté de 12% à 78%. La faible dégradation due aux fautes temporaires est due aux logs des tâches du côté du worker qui sauve localement sa dernière tâche executée et la réexécute automatiquement quand il redémarre. Ce surcoût est raisonnable dans la mesure où la reprise sur erreur est automatique et que l'application ne se sera rendu compte de rien (le programmeur n'a pas eu à s'en occuper). Les tests de tolérance aux pannes du coordinateur et des clients sont en cours et feront l'objet d'un autre papier.

2. SMPD sur MPI tolérant aux pannes

Les utilisateurs de plates-formes hautes performances sont familiers des passages de messages symétriques et utilise souvent la librairie MPI [48]. La volatilité dans les LSDS implique l'utilisation d'un MPI tolérant aux pannes. La manière dont ces fautes devraient être traitées dans MPI est toujours en cours d'étude [27] :

– les applications sauvent leurs résultats intermédiaires dans des endroits sûrs,
– la librairie MPI est modifiée pour informer les applications des fautes éventuelles et accepter des reconfigurations quant aux communica-

tions [18],
– l'implémentation MPI gère complètement la gestion des fautes afin que ni le programmeur d'application, ni l'utilisateur final n'aient à s'en préoccuper.

Cette dernière proposition, alléchante pour l'utilisateur, impose soit une tolérance aux pannes limitée, soit un coût important en termes de performances. De telles implémentations reposent sur une approche optimiste. En théorie, ces protocoles peuvent supporter un nombre de fautes proportionnel aux ressources allouées à leur traitement. Cependant aucune implémentation connues ne tolère plus d'une seule faute ; au delà le système soit être entièrement redémarré. Il existe des exemples de MPI tolérant N fautes concurrentes de process MPI (N étant le nombre total de process MPI), suivant le principe de log de message pessimiste en stockant tout message sur un support sûr. Ils nécessitent un nombre important de ressources fiables. [10] et [11] présentent les travaux dans ce domaines.

Notre projet MPICH-V nous permet d'étudier différents protocoles de tolérance aux pannes, basés sur des études théoriques. Il est basé sur la librairie MPICH [28] et un environement d'exécution propre, la librairie MPICH-V, qui doit être liée à l'application à déployer, comme toute librairie MPI. Dans le cas de LSDS, l'environnement d'exécution occupe plusieurs couches (au moins les 3 et 5) (*cf.* figure 1).

La librairie implémente toutes les routines de communications de MPICH. Deux protocoles, basé sur un *checkpointing* (CP) non coordonné associé à un log de message pessimiste ont été implémentés et comparés pour les LSDS : MPICH-V1 et MPICH-V2. Les deux utilisent des serveur de *checkpoint* (CS) ainsi qu'un coordinateur sûrs. La figure 3 présente l'organisation générale et les composants utilisés dans les deux cas.

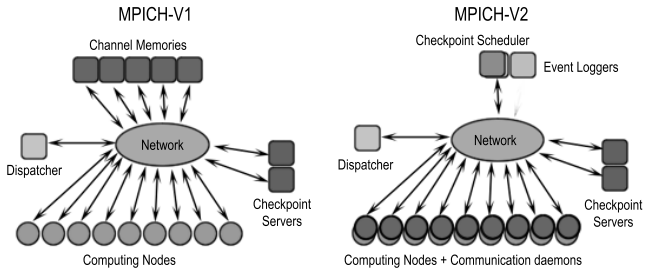


FIG. 3 – Composants et organisation générale de MPICH-V1 et MPICH-V2

MPICH-V1 s'appuit sur les mémoires de canal (CM) pour assurer la tolérance aux pannes. Les CMs sont des ressources dédiées au transfert et au stockage de messages. La tolérance aux pannes est implémentée de manière distribuée ; chaque ressource sauvegarde périodiquement ses contextes d'exécution et de communication dans des CS distribués et en stockant tous les messages en transit dans les CMs. L'environnement d'exécution associe chaque CM à un

ensemble de ressources différentes les unes des autres afin que toute ressource recoive toujours ses messages du même CM, que nous appelons *home CM*. Quand une ressource envoie un message, il le dépose dans le *home CM* du destinataire. Quand elle redémarre, elle se réexécute depuis son dernier CP valide en rejouant tous ses messages connus. Les émissions sont simplement filtrées puisqu'elles sont déjà sauvées dans le *home CM* destinataire. MPICH-V1 est décrit dans [10].

Dans MPICH-V1, tout message passe par une CM et il y a autant de CM que de ressources. Pour dépasser ces limites, MPICH-V2 le log de message au niveau de l'émetteur avec les possibilités de tolérer N fautes concurrentes dans une stratégie de log de message pessimiste. Le protocole de log de message pessimiste au niveau de l'émetteur suppose que le log des messages soit coupé en deux parties. D'un côté l'émetteur sauve les messages qu'il envoit sur un média non sûr ; d'autre part un *event logger* (EL) sauve les informations associées aux message de manière sûre. MPICH-V2 est décrit dans [11].

Trois paramètres sont déterminants pour comparer les mérites respectifs des différents protocoles de tolérance aux pannes ; le coût en termes de performance, le nombre de ressources stables nécessaire et la fréquence de fautes tolérées. Nous évaluons les performances sur un cluster de PC : 32 ressources de calcul et 12 machines auxiliaires connectées à un switch Ethernet 100Mb/s.

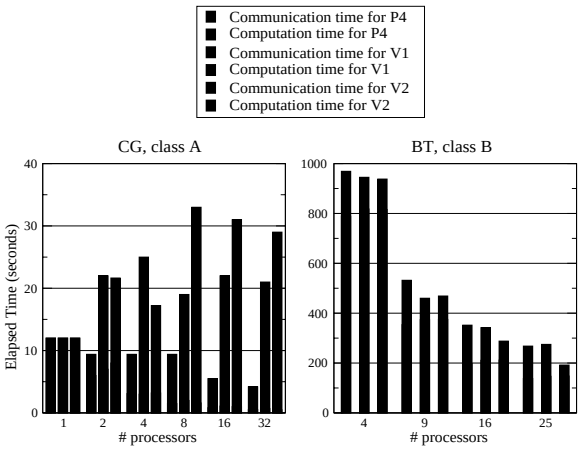


FIG. 4 – Dégradation des temps d'exécution pour les 3 implémentations MPI pour les CG-A and BT-B

La figure 4 présente les temps d'exécution dégradés du NAS Benchmarcks NPB2.3 CG Class A et BT Class B (deux extrêmes des ratios calcul/communication) pour les trois implémentations MPI : MPICH-P4 (la référence), MPCH-V1 et V2.

MPICH-V1 utilise *N/4* mémoires de canal , *N* étant le nombre de ressources de calcul et un seul serveur de checkpoints. MPICH-V2 utilise une seule ressource fiable, un seul *CS* et un seul *EL*.

La figure 4 montre que les temps d'exécution sont les mêmes pour toutes les implémentations avec les deux tests. Les faibles performances de MPICH-V1 et MPICH-V2 avec CG-A sont dues aux coûts de communication dramatique à cause du log de message. MPICH-V1 est meilleur que MPICH-V2 sur ce test car l'*EL* requiert une réponse qui dégrade les performances, surtout pour les petits messages. Avec BT-B, les performances de communications de MPICH-V2 sont meilleures que MPICH-P4 et MPICH-V1. Ceci est dû à l'usage de la bande passante dans MPCH-V1 pour les gros messages qui doivent passer par les CMs et la manière dont les communications asynchrones sont prises en compte.

Ces résultats montrent que le log de message a un coût non négligeable sur les performances des applications dont le ratio calcul sur communication est faible. Dans les autres cas, qui sont les cibles de MPICH-V, le protocole basé sur l'émetteur a une meilleure performance que celui utilisant le log distribué ; il demande aussi moins de ressource fiables.

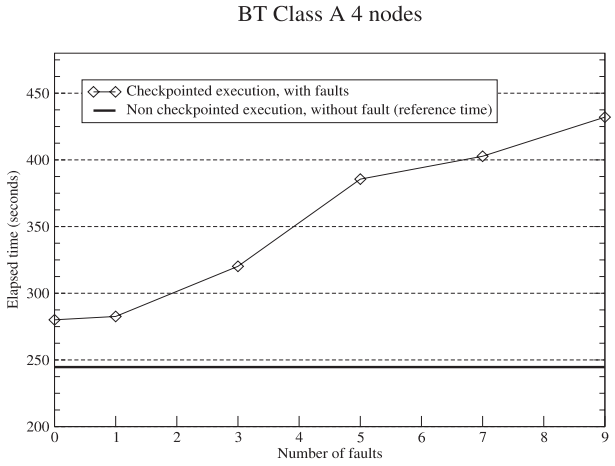


FIG. 5 – Les performances de MPICH-V2 pour BT-A avec 4 ressources quand le nombre de fautes augmente pendant l'exécution

La figure 5 présente le temps d'exécution de BT Class A sur MPICH-v2 avec 4 ressources de calcul et une seule ressource fiable pour le CS et le EL. Pour ce test, a) nous simulons les fautes avec un ordre de terminaison aléatoire b) l'exécution est immédiatement relancée depuis le dernier CP valide au niveau du CS.

La figure 5 démontre que :

1. le surcoût du système de checkpointing est faible quand il n'y a pas de fautes,

2. la faible dégradation des performances en fonction du nombre consécutives de fautes,
3. un temps d'exécution plus petit que deux fois la référence (sans faute) avec 9 fautes.

Ce dernier point montre clairement que les propriétés de MPICH-V2 permettent de tolérer une faute toute les ~ 50 secondes. Des résultats similaires ont été obtenus avec MPICH-V1 [10]. La différence entre les deux protocoles vient de leur coût en termes de performance ainsi que du nombre de ressources fiables nécessaires. MPICH-V2 fait mieux que MPICH-V1 sur ces deux points.

IV — SÉCURITÉ

Les problèmes de sécurité peuvent être divisés en quatre : l'intégrité et la confidentialité des données, la certification des résultats, l'intégrité de l'infrastructure ainsi que l'intégrité et la confidentialité des ressources. Plusieurs travaux ont traité les trois premiers points [15], [40]. Dans ce chapitre, nous traitons du quatrième point.

Le système de sécurité doit protéger les ressources participantes. Une approche générale pour résoudre ce type de problème est de confiner l'exécution dans une enveloppe indestructible. Le *bac à sable* (*sandbox*) est une technique connue qui filtre les appels systèmes.

En fonction de la politique de sécurité, les bacs à sable neutralisent les comportements jugés hostiles, limitent l'usage des ressources et empêchent l'exploitation malicieuse des trous de sécurité. Les systèmes LSDS devraient pouvoir tirer profit de cette approche.

Le plus connu des bacs à sable est la machine virtuelle Java (JVM) qui propose l'utilisation de politiques de sécurité. Malheureusement la JVM ne peut être exploitée pour les codes natifs.

1. Les bacs à sable

Trois types de bacs à sable peuvent être utilisés. Plusieurs d'entre eux sont basés sur *PTrace*, un mécanisme implémenté dans tout système compatible *Posix* ; Subterfuge [32] en est le principal. Toutefois, PTrace souffre d'un trou de sécurité dû aux attaques dites *« race condition »* qui change les conditions d'appels entre le test de sécurité et l'exécution proprement dite.

Un mécanisme plus fiable est basé sur l'émulation des appels systèmes grâce à des machines virtuelles. UML en est un exemple, VMWare propose des solutions du même type. Si ces solutions offrent de bonnes garanties, elles imposent un surcoût qui peut s'avérer prohibitif dans un système GC à haute performance.

	wget	tar
sans SBLSM	$\sim 26.51s$	$\sim 95.95s$
Hors de la sandbox	$\sim 27.05s$	$\sim 96.58s$
Dans la sandbox	$\sim 28.64s$	$\sim 97.70s$

FIG. 6 – Performances de SBLSM sur des bechnmaks synthétiques.

Une technique plus récente se base sur le *Linux Security Module* (LSM) qui est un mécanisme d'interposition à l'intérieur du noyau, ce qui est encore la plus sûre et la plus efficace des solutions. Il n'existe malheureusement pas d'implémentation dédiée au GC ni au P2P.

C'est pourquoi nous proposons SBLSM.

2. SBLSM

SBLSM est un module pour LSM dédié au GC et au P2P. Le principe est d'appliquer une politique de sécurité à un ensemble de process binaires. Chaque fois qu'un process monitoré essaie de faire un appel système, le module vérifie la politique associée : *GRANT* autorise l'appel, *DENY* le refuse et *ASK* demande vérification à une autorité. Ce pré-tri offre un avantage en termes de performance.

Trois types de contrôle sont actuellement implémentés :

1. accès aux fichiers,
2. accès au réseau,
3. contrôle des signaux.

Le module peut être configuré pour travailler dans un mode de confinement extrême où tous les process sont disjoints entre eux afin d'assurer la confidentialité des données.

3. Performances de SBLSM

Nous présentons ici un résumé des évaluations de performances du module qui fera l'objet d'une publication ultérieure.

Pour cette expérience, nous utilisons un benchmark synthéthique avec un grand nombre d'appels système. Il n'y a pas de surcoût pour les calculs puisque l'interposition n'intervient que pour les appels systèmes. Nous présentons deux tâches typiques des GC a) télécharger de gros fichiers et b) extraire une grosse archive.

La figure 6 montre que le surcoût du bac à sable est faible. Nous pensons qu'en l'absence de standard de machine virtuelle à haute performance, une

technique d'interposition interne au noyau telle que proposée dans LSM est un bon compromis performance/sécurité.

V — Perspectives d'interaction entre GC et Grid

Ces quatre dernières années nous avons étudié les possibilités offertes par les LSDS en abordant tous les aspects (deploiement, modèle de programmation et sécurité) grâce à notre plate-forme XtremWeb.

Voici quelques conclusions.

I) La prise en charge des ressources dans un LSDS est très proche ce celle dans les Grid (code applicatifs, communications, interactions avec les systèmes de traitement par lots, répartition de charges). En instanciant des workers XtremWeb sur différents clusters nous avons démontré que la prise en charge de jobs par le GC évite d'implémenter des mécanismes spcécifiques aux clusters b) le mode d'allocation d'XtremWeb (dit mode *pull*) induit une répartition de charge suffisante par lui même, même dans le cas d'un réseau à caractéristiques dynamiques.

II) Les résultats que nous avons obtenus en déployant des applications RPC et MPI sur XtremWeb montrent que les environnements de programmation tolérant aux pannes induisent un surcoût qui reste raisonnable en tolèrant un grand nombre de fautes.

III) La sécurité a un coût, en termes de performances, proprotionnel au niveau désiré. Notre bac à sable, basé sur l'interposition au niveau du noyau semble être la solution la plus raisonnable en termes de surcoût.

Le développement d'XtremWeb a suivi une voie paralléle aux systèmes de Grid tel que Globus [23] ou Unicore [4]. On peut toutefois observer des éléments de convergence entre ces deux types de plate-forme ([22]). Notre expérience de développement d'un tel système, à travers XtremWeb, nous permet de fournir quelques détails de plus.

Les architectures des GC et des Grid convergent inéluctablement grâce notamment au *Globus Toolkit 3* [39] et à la notion de services de Grid. L'architecture d'XtremWeb évolue vers de plus grandes flexibilité et sécurité, prenant en charge le stockage et les communications et plus seulement le calcul distribué afin de proposer des communications inter ressources ainsi qu'un schedulling distribué. La notion de services de Grid tendant à devenir un standard de fait, il y a de grandes chances que les prochaines version d'XtremWeb se basent aussi dessus.

Aujourd'hui, avec notre expérience, il ne nous semble plus qu'il faille introduire de nouveaux paradigmes. Les programmeurs ne peuvent pas adapter

leurs programmes à chaque nouveau type de plate-forme. Nous avons donc proposé XWRPC et MPICH-V et leurs mécanismes transparents afin de permettre le déploiement d'applications non dédiées sur des GC comme sur des Grid. Notre prochaine version MPICH-V3 utilisera un protocole hiérarchique dédié au Grid et permettant de gérer les ressources de clusters ou de système GC.

Les différences principales entre les deux types de systèmes sont la taille de la plate-forme et le contrôle des ressources. Les différences techniques concernent particulièrement le déploiement, la tolérance aux pannes ainsi que la sécurité.

Les systèmes de calcul global doivent en priorité régler la gestion d'un grand nombre de ressources en proposant des outils adéquants. Si les Grids viennent à se généraliser, ils s'intéresseront certainement aux PCs individuels et auront eux aussi à proposer ces outils. On voit bien ici que la différences entre les plate-formes sera alors négligeable.

La tolérance aux pannes est d'autant plus importante dans les GC que les ressources sont hors de contrôle par définition ; leur fréquence de connexions, leur stabilité, etc., sont imprévisibles. Elles peuvent aussi s'avérer agressives. Les Grids ont moins de problèmes de ce côté là puisqu'ils s'appuient sur des infrastructures déjà solides en elles-mêmes ; ils doivent néanmoins proposer des solutions aux pannes, d'autant plus s'ils augmentent en nombre et en taille. Nous pensons donc, que de ce point de vue aussi, la convergence se fera.

Ces deux types de systèmes diffèrent principalement quant aux problèmes de sécurité relatifs aux utilisateurs dans les Grids, tandis que les GC doivent se concentrer sur les applications, l'infrastructure, les ressources et les données, avec une notion d'utilisateur qui reste très floue. La sécurité et l'intégrité des données reposent entièrement sur l'infrastructure proposée dans les Grids, alors qu'elles sont problématiques dans les GC. De la même manière, les GC doivent proposer des méthodes de certification de résultats ([41]), alors que les Grids, non. Des systèmes pour LSDS ont été proposés dans ce sens ([30], CRISIS [9]). Les ressources sont protégées par l'infrastructure les Grids, alors que les GC doivent proposer des solutions comme les bacs à sable. Les Grids, enfin, sont définis avec des systèmes de certificats, de délégation, de cycle de vie, de révocation, etc., imposant des infrastructures lourdes. On peut donc penser que soit les GC ne pourront pas proposer de tels niveaux de sécurité, soit ils devront s'imposer un niveau de complexité beaucoup plus élevé.

Nous pouvons donc conclure ici que la convergence entre ces deux types de plate-forme est inéluctable ; les Grids vont gagner en flexibilité et en scalabilité et les GC en sécurité et en management.

RÉFÉRENCES

[1] Web Services. www.webservices.org.

[2] Mithral Communications & Design Inc. – The COSM Project. http ://www.mithral.com/projects/cosm/, 2002.

[3] A. D. Alexandrov, M. Ibel, K. E. Schauser, and C. J. Scheiman. SuperWeb : Towards a global web-based parallel computing infrastructure. In *Proceedings of the 11 th IEEE International Parallel Processing Symposium (IPPS)*, April 1997.

[4] J. Almond and M. Romberg. The Unicore Project : Uniform Access to Supercomputing Over the Web. In *Proceeding of 40th Cray User Group Meeting, Stuttgart, Germany*, 1998.

[5] D. Anderson. BOINC, Berkeley Open Infrastructure for Network Computing, 2002.

[6] R. Baldoni and C. Marchetti. Three-tier replication for FT-CORBA infrastructures. *Software Practice & Experience*, 33 :767–797, 2003.

[7] A. Barak, S. Guday, and R. G. Wheeler. The MOSIX distributed operating system : load balancing for UNIX. volume 672, page 221, New York, NY, USA, 1993. Springer-Verlag Inc.

[8] A. Baratloo, M. Karaul, Z. Kedem, and P. Wyckoff. Charlotte : Metacomputing on the Web. In *Proceedings of the 9th Conference on Parallel and Distributed Computing Systems*, 1996.

[9] E. Belani, A. Vahdat, T. Anderson, and M. Dahlin. The CRISIS Wied Area Security Architecture. In *Proceedings of the USENIX Security Symposium, San Antonio, Texas*, 1998.

[10] G. Bosilca, A. Bouteiller, F. Cappello, S. Djilali, G. Fédak, C. Germain, T. Hérault, P. Lemarinier, O. Lodygensky, F. Magniette, V. Néri, and A. Selikhov. MPICH-V : Toward a Scalable Fault Tolerant MPI for Volatile Nodes. In *ACM/IEEE SC2002 Conference*, Baltimore USA, November 2002.

[11] A. Bouteiller, F. Cappello, T. Hérault, G. Krawezik, P. Lemarinier, and F. Magniette. MPICH-V2 : a Fault Tolerant MPI for Volatile Nodes based on the Pessimistic Sender Based Message Logging. In *ACM/IEEE SC2003 Conference*, Phoenix USA, November 2003.

[12] T. Brecht, H. Sandhu, M. Shan, and J. Talbot. ParaWeb : Towards World-Wide Supercomputing. In *Proceedings of the Seventh ACM SIGOPS European Workshop on System Support for Worldwide Applications*, 1996.

[13] H. Casanova and J. Dongarra. NetSolve : A Network-Enabled Server for Solving Computational Science Problems. In *The International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing*, volume 11, Number 3, pages 212–223. Sage Publications, 1997.

[14] B. O. Christiansen, P. Cappello, M. F. Ionescu, M. O. Neary, K. E. Schauser, and D. Wu. Javelin : Internet-based parallel computing using Java. *Concurrency : Practice and Experience*, 9(11) :1139–1160, 1997.

[15] K. Czajkowski, S. Fitzgerald, I. Foster, and C. Kesselman. Grid Information Services for Distributed Resource Sharing. In *High-Performance Distributed Computing (HPDC-10), IEEE Press*, 2001.

[16] S. Djilali. P2P-RPC : Programming Scientific Applications on Peer to Peer Systems with Remote Procedure Call. In I. Press, editor, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Cluster Computing and the Grid*. Tokyo Japan, November 2003.

[17] G. Fagg and J. Dongarra. FT-MPI : Fault Tolerant MPI, Supporting Dynamic Applications in a Dynamic World. Euro PVM/MPI User's Group Meeting 2000 ,Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp.346-353., 2000.

[18] G. E. Fagg, A. Bukovsky, and J. J. Dongarra. HARNESS and fault tolerant MPI. *Parallel Computing*, 27(11) :1479–1495, October 2001.

[19] S. Fanning. Napster : a P2P file sharing. http ://www.napster.com, 1999.

[20] G. Fedak, C. Germain, V. Neri, and F. Cappello. XtremWeb : a generic global computing platform – CCGRID'2001 Special Session Global Computing on Personal Devices. IEEE press, 2000.

[21] M. Fischer, N. Lynch, and M. Paterson. Impossibility of distributed consensus with one faulty process. *Journal of the ACM*, 32 :374–382, April 1985.

[22] I. Foster and A. Iamnitchi. On Death, Taxes, and the Convergence of Peer-to-Peer and Grid Computing. In *2nd International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS'03)*, February 2003.

[23] I. Foster, C. Kesselman, J. Nick, and S. Tuecke. The Physiology of the Grid : An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. In *Open Grid Service Infrastructure WG, Global Grid Forum*, 2002.

[24] I. Foster, C. Kesselman, J. Nick, and S. Tuecke. Grid Services for Distributed System Integration. In *IEEE Computer*, pages 37–46, June 2002.

[25] D. P. Ghormley, D. Petrou, S. H. Rodrigues, A. M. Vahdat, and T. E. Anderson. GLUnix : A Global Layer Unix for a Network of Workstations. *Software Practice and Experience*, 28(9) :929–961, 1998.

[26] J.-P. Goux, S. Kulkarni, J. Linderoth, and M. Yoder. An Enabling Framework for Master-Worker Applications on the Computational Grid. In I. C. Society, editor, *Proc. 9th IEEE Symp. on High Performance Distributed Computing*, pages 43–50, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2000.

[27] W. Gropp and E. Lusk. Fault Tolerance in MPI Programs. *special issue of the Journal High Performance Computing and Applicati ons*, 2002.

[28] W. Gropp, E. Lusk, N. Doss, and A. Skjellum. High-Performance, Portable Implementation of the MPI Message Passing Interface Standard . *Parallel Computing*, 22(6) :789–828, September 1996.

[29] S. M. Inc. RPC : Remote Procedure Call Protocol specification version 2. In *Tech. Rept. DARPA-Internet RFC 1057, SUN Microsystems, Inc.*, June 1988.

[30] B. Lampson, M. Abadi, M. Burrows, and T. Wobber. Authentication in distributed systems : Theory and practice. In *Proceedings of the 13th ACM Symposium on Operating Systems Principles*, pages 165–182, October 13-16 1991.

[31] M. J. Litzkow, M. Livny, and M. W. Mutka. Condor - A Hunter of Idle Workstations. In *Proceedings of the 8th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pages 104–111, Washington, DC, 1988. IEEE Computer Society.

[32] C. Mike and M. Pavel. Subterfugue : a framework for observing and playing with the reality of software. http ://subterfugue.org/.

[33] N. Nisan, S. London, O. Regev, and N. Camiel. Globally distributed computation over the internet-the popcorn project. In *Proceedings for the 18th International Conference on Distributed Computing Systems*, 1998.

[34] Object Management Group, Inc. The Common Object Request Broker : Architecture and Specification. In *3.0.2 edition*, December 2002.

[35] H. Pedroso, L. M. Silva, and J. G. Silva. Web-based metacomputing with JET. In *Proceedings of the ACM 1997 PPoPP Workshop on Java for Science and Engineering Computation*. ACM, June 1997.

[36] J. S. Plank, H. Casanova, M. Beck, , and J. Dongarra. Deploying Fault Tolerance and Task Migration with NetSolve. *Future Generation Computer Systems*, 15 :745–755, 1999.

[37] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker. A Scalable Content Addressable Network. Technical Report TR-00-010, Berkeley, CA, 2000.

[38] A. Rowstron and P. Druschel. Pastry : Scalable, Decentralized Object Location, and Routing for Large-Scale Peer-to-Peer Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 2218, 2001.

[39] T. Sandholm and J. Gawor. Globus Toolkit 3 Core - A Grid Service Container FrameWork. In *Globus Toolkit Core White Paper, http ://www-unix.globus.org/toolkit/3.0/ogsa/docs/gt3_core.pdf*, July, 2003.

[40] L. F. G. Sarmenta. *Volunteer Computing*. PhD thesis, Cambridge, USA, June 2001. Massachusetts Institute of Technology.

[41] L. F. G. Sarmenta. Sabotage-Tolerance Mechanisms for Volunteer Computing Systems. In *ACM/IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid'01)*, Brisbane, Australia, May 15-18, 2001.

[42] L. F. G. Sarmenta, S. Hirano, and S. A. Ward. Towards Bayanihan : builing an extensible framework for Volonteer Computing using java. In *Proc. ACM Workshop on Java for High-Performance Network Computing*, 1998.

[43] S. Saroiu, P. K. Gummadi, and S. D. Gribble. A Measurement Study of Peer-to-Peer File Sharing Systems. In *Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN '02)*, San Jose, CA, USA, (citeseer.nj.nec.com/saroiu02measurement.html), January 2002.

[44] M. Sato, M. Hirano, Y. Tanaka, and S. Sekiguchi. OmniRPC : A Grid RPC Facility for Cluster and Global Comuting in OpenMP. In Springer, editor, *Proc. of Workshop on OpenMP Applications and Tools 2001*, volume LNCS 2104, pages 130–135, West Lafayette, IN, USA, July 2001.

[45] M. Sato, H. Nakada, S. Sekiguchi, S. Matsuoka, U. Nagashima, and H. Takagi. Ninf : A Network Based Information Library for Global World-Wide Computing Infrastructure. In *Proc. of High-Performance Computing ans Networking, International Conference and Exhibition, HPCN Europe*, volume LNCS 1225, pages 491–502, Vienna, Austria, April 1997. Springer.

[46] K. Seymour, H. Nakada, S. Matsuoka, J. Dongarra, C. Lee, and H. Casanova. GridRPC : A Remote Procedure Call API for Grid Computing. In *Technical report, Univ. of Tennesse*, ICL-UT-02-06, June 2002.

[47] J. Shoch and J. Hupp. Computing Practices : The 'Worm' Programs - Early Experience with a Distributed Computation. *Comm. ACM*, 25(3) :172–180, 1982.

[48] M. Snir, S. Otto, S. Huss-Lederman, D. Walker, and J. Dongarra. *MPI : The Complete Reference*. The MIT Press, 1996. http ://www.netlib.org/utk/papers/mpi-book/mpi-book.html.

[49] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, F. Kaashoek, and H. Balakrishnan. Chord : A Scalable Peer-To-Peer Lookup Service for Internet Applications. Technical Report TR-819, MIT, 2001.

[50] B. Y. Zhao, J. D. Kubiatowicz, and A. D. Joseph. Tapestry : An Infrastructure for Fault-tolerant Wide-area Location and Routing. Technical Report UCB/CSD-01-1141, UC Berkeley, Apr. 2001.

PRIX DES PUBLICITÉS ET ENCARTS DANS MATAPLI POUR 2004

– 250 euros pour une page intérieure,
– 400 euros pour la 3e page de couverture,
– 450 euros pour la 2e page de couverture,
– 500 euros pour la 4epage de couverture,
– 150 euros pour une demi-page,
– 300 euros pour envoyer avec Matapli une affiche format A4 (1500 exemplaires)

(nous consulter pour des demandes et prix spéciaux)

Envoyer un bon de commande au secrétariat de la Smai, Mme Duneau.

Œuvres choisies de Jacques-Louis Lions

Hommage à un mathématicien de renommée internationale

Jacques-Louis Lions, décédé le 17 mai 2001, a fortement influencé les mathématiques appliquées françaises et mondiales.

Professeur au Collège de France, Professeur à l'École polytechnique, Président de l'INRIA, Président du CNES et Président de l'Académie des Sciences, **Jacques-Louis Lions** a publié plus de 20 livres et près de 600 articles scientifiques dans les principales revues internationales de mathématiques.

Afin de lui rendre hommage et de faciliter l'accès à ses travaux, la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) a décidé d'éditer des ***œuvres choisies de Jacques-Louis Lions***. La SMF (Société Mathématique de France) s'associe à cette publication faite avec le concours du Ministère de la Recherche.

Jacques-Louis Lions • *Œuvres choisies*

Volume 1 : *Équations aux dérivées partielles et interpolation*

Volume 2 : *Contrôle et homogénéisation*

Volume 3 : *Analyse numérique, calcul scientifique et applications*

Découpez ou photocopiez ce bon de commande et renvoyez-le à :

EDP Sciences – BP 112 – 91944 Les Ulis Cedex A – Tél. : 33 (0)1 69 18 75 75 – Fax : 33 (0)1 69 86 06 78

Nom : ..... Prénom : .....Téléphone : .....

E-mail : ..... Adresse : .....

Code Postal : ..... Ville : .....Pays : .....

	Prix Unitaire	Quantité	TOTAL €
Équations aux dérivées partielles et interpolation (Vol. 1)	**70 €**	x	=
Contrôle et homogénéisation (Vol. 2)	**70 €**	x	=
Analyse numérique, calcul scientifique et applications (Vol. 3)	**70 €**	x	=
Les 3 volumes des Œuvres choisies (Vol. 1 + Vol. 2 + Vol. 3)	~~**210 €**~~ **170 €**	x	=

Frais de port	1 livre	Livre supplémentaire	Plus de 5 livres	
France métropolitaine	4 €	+ 1 €	nous consulter	+
DOM et Europe	7 €	+ 2 €		
TOM et reste du monde	9 €	+ 3 €		
			TOTAL	=

CPMAT0403

Paiement :

– par chèque à l'ordre d'EDP Sciences (à joindre à la commande)

– par carte bancaire :

❑ *VISA* ❑ *Eurocard* ❑ *American Express*

N° de Carte :

|_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| *Date d'expiration :* ..... /..... *Date et signature :*

MODELLING OF MISCIBLE LIQUIDS AND MICROGRAVITY EXPERIMENTS

par N. Bessonov[*], J. A. Pojman[†], V. Volpert[‡]

Abstract

Temperature and concentration gradients can create volume forces which result, in the case of immiscible liquids, in various capillary phenomena. However even for miscible liquids where a thermodynamically stable interface between them does not exist we can expect transient interfacial phenomena before the liquid becomes homogeneous due to diffusion. This hypothesis was first suggested by Korteweg in 1901 who had also derived a mathematical model to describe this effect. A century after that, the question about its experimental confirmation and about agreement between the theory and experiments remains basically open. Recent theoretical studies essentially motivated by microgravity experiments, but also terrestrial experiments give a hope to get a definitive confirmation of existence of transient interfacial tension in miscible liquids.

I — INTRODUCTION

Nonlocal interaction in binary fluids can influence their behavior. Trying to minimize its free energy, which is also nonlocal in this case, the system can show two types of dynamics. The first one happens at the molecular level and manifests itself as diffusion or phase separation. The second one is related to capillary phenomena and convective motion of the fluid.

A wide range of capillary phenomena was intensively studied for immiscible fluids beginning from the XIX-th century. In 1901 Korteweg published a work [13] where he suggested that capillary forces could also exist for miscible fluids. He introduced additional volume forces in the equations of motion called now Korteweg stresses. Direct experimental confirmation of this theory does not exist even now because of serious experimental and theoretical difficulties: possible effects are weak and time dependent, and they can be distorted by other phenomena. Zeldovich used qualitative physical considerations to show that effective interfacial tension in miscible liquids should exist [23].

[*]Lab. de Mathématiques Appliquées, UMR 5585 CNRS, Univ. Lyon 1 - 69622 Villeurbanne; Institute of Mechanical Engineering Problems, 199178 Saint Petersburg, Russia

[†]Department of Chemistry and Biochemistry, University of Southern Mississippi - Hattiesburg, MS 39606, USA

[‡]Lab. de Mathématiques Appliquées, UMR 5585 CNRS, Univ. Lyon 1 - 69622 Villeurbanne

Cahn and Hilliard developed the theory of phase separation [7] based on the minimization of the free energy functional which contained the square of the density gradient and which had been already introduced by Van der Waals [20]. On one hand it is related to the Ginzburg-Landau functional and on the other hand to the Korteweg theory where the volume forces also depend on the density gradient. Phase separation was studied in numerous works without taking convection into account.

There have been a number of attempts to develop a unified approach to these phenomena (see [1], [2] and references therein). They start from the assumption that the free energy density depends on the square of the density gradient or of the composition gradient. Some additional assumptions related to the thermodynamics of irreversible processes allow one to obtain the full set of equations from the conservation laws. Usually they contain the Cahn-Hilliard equation for the composition (order parameter) in the case of a binary mixture, the equations of motion with the Korteweg-like stresses, and the equation for the entropy production. Some properties of miscible liquids are recently studied experimentally [16], [17] and theoretically [9], [11], [12], [19].

Interfacial phenomena in miscible liquids are transient since the system converges to a homogeneous equilibrium due to diffusion. However if the diffusion coefficient is sufficiently small, capillary forces can lead to a significant fluid motion. We illustrate this situation by numerical simulations of miscible drops, jets, and plane interfaces.

II — GOVERNING EQUATIONS

1. Equations of motion

Following [15] we consider a continuous medium consisting of particles of two types, A and B. Denote V_A and V_B the one particle mean field pseudopotential acting on the particles A and B, respectively. Everywhere below we consider the two-dimensional spatial case to simplify the presentation. For a particle located at the point (x, y) we have

$$\begin{aligned} V_A(x,y) = n_0 \int V_{AA}(|r-r'|)(1-c(x',y'))dx'dy' \\ + n_0 \int V_{AB}(|r-r'|)c(x',y')dx'dy', \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} V_B(x,y) = n_0 \int V_{AB}(|r-r'|)(1-c(x',y'))dx'dy' \\ + n_0 \int V_{BB}(|r-r'|)c(x',y')dx'dy'. \end{aligned} \tag{2}$$

Here n_0 is the total number of particles of both type in a unit volume assumed for simplicity to be constant; c denotes the fraction of particles B, it changes between 0 and 1; V_{AA}, V_{AB}, V_{BB} are the potentials of the pair-wise interaction between the particles of the type A, A and B, and of the type B. These potentials depend on the distance between particles,

$$r = (x, y),\ r' = (x', y'),\ |r - r'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}.$$

The functions $V_{AA}(r), V_{AB}(r), V_{BB}(r)$ are assumed to be integrable at $r = 0$ and $r^2 V_{AA}(r)$, $r^2 V_{AB}(r)$, $r^2 V_{BB}(r)$ integrable at $r = \infty$. Assuming that the potentials are sufficiently localized and that the derivatives of the composition c are sufficiently small, we can use the Taylor expansion for the composition.

The volume force $F = (F_x, F_y)$,

$$F_x = -n_0 \left((1 - c) \frac{\partial V_A}{\partial x} + c \frac{\partial V_B}{\partial x} \right), \quad F_y = -n_0 \left((1 - c) \frac{\partial V_A}{\partial y} + c \frac{\partial V_B}{\partial y} \right)$$

can be written in the form

$$F_x = \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{1}{2} K_3 \frac{\partial c}{\partial x} \Delta c, \quad F_y = \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{1}{2} K_3 \frac{\partial c}{\partial y} \Delta c, \tag{3}$$

where

$$G = -n_0 \left((1 - c) V_A + c V_B \right) + K_1 c + \frac{1}{2} K_2 c^2,$$

K_1, K_2, and K_3 are some constants that can be expressed through the potentials.

Consider the equations of motion assuming that the liquid is incompressible

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v.\nabla) v = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta v + \frac{1}{\rho} F, \quad \text{div } v = 0. \tag{4}$$

Here $v = (v_x, v_y)$ is the velocity vector, ρ the density, ν the kinematic viscosity, p the pressure. The density and the viscosity are supposed to be constant. Denote $\tilde{p} = p + G$. Then the equations of motion become

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} + \nu \Delta v_x + \frac{K_3}{2\rho} \frac{\partial c}{\partial x} \Delta c, \tag{5}$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial y} + \nu \Delta v_y + \frac{K_3}{2\rho} \frac{\partial c}{\partial y} \Delta c. \tag{6}$$

We can call the component G of the pressure the thermodynamic pressure. It does not influence the liquid motion.

2. Korteweg stresses

Consider the equations of motion with the volume force given by the Korteweg stresses (see [2]):

$$\tilde{F}_x = K\,\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)^2 - K\,\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial c}{\partial x}\frac{\partial c}{\partial y}\right),$$
$$\tilde{F}_y = -K\,\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial c}{\partial x}\frac{\partial c}{\partial y}\right) + K\,\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)^2.$$

We can write it also in the following form

$$\tilde{F}_x = \frac{1}{2}\,K\,\frac{\partial}{\partial x}|\nabla c|^2 - K\,\frac{\partial c}{\partial x}\,\Delta c,\quad \tilde{F}_y = \frac{1}{2}\,K\,\frac{\partial}{\partial y}|\nabla c|^2 - K\,\frac{\partial c}{\partial y}\,\Delta c.$$

Denote

$$\hat{p} = p + \frac{1}{2}\,K|\nabla c|^2.$$

Then we obtain the same system (5), (6) with another form of the thermodynamic pressure and with $K = -K_3/(2\rho)$. Thus we obtain the Korteweg stresses in the equation of motion from the mean field approach.

3. Cahn-Hilliard equation

The full free energy of the system is given by the following functional

$$\mathcal{F} = \int f(x,y)dxdy, \tag{7}$$

where the free energy density f is given in a mean field approximation by the expression

$$f(x,y) = \frac{1}{2}\,n_0\,(1-c(x,y))V_A(x,y) + \frac{1}{2}\,n_0\,c(x,y)V_B(x,y) +$$
$$k_bTn_0(1-c(x,y))\ln(1-c(x,y)) + k_bTn_0c(x,y)\ln c(x,y).$$

Here T is the temperature and k_b the Boltzmann constant. We have $f = f_0 + f_1$, where

$$f_0 = \frac{1}{2}n_0^2\left((1-c)^2V_{AA}^{(1)} + 2c(1-c)V_{AB}^{(1)} + c^2V_{BB}^{(1)}\right)$$
$$+ k_bTn_0\left((1-c)\,\ln(1-c) + c\,\ln c\right),$$
$$f_1 = \frac{1}{4}n_0^2(V_{AB}^{(2)} - V_{AA}^{(2)})\,\Delta c - \frac{1}{2}n_0^2\,K\,c\,\Delta c.$$

In the case of the no-flux boundary conditions for c we obtain

$$\mathcal{F} = \int f_0(x,y) + \frac{1}{2}n_0^2\,K\,|\nabla c|^2 dxdy. \tag{8}$$

This is the Ginzburg-Landau free energy functional. Its minimization at the equilibrium gives the equation

$$\frac{df_0}{dc} - K\Delta c = 0. \tag{9}$$

If we introduce the chemical potential $\mu = \frac{df_0}{dc} - K\Delta c$, and make the usual assumptions that the flux of c is proportional to the gradient $\nabla\mu$, and the change of c equals to the divergence of the flux, we obtain the convective Cahn-Hilliard equation:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x\frac{\partial c}{\partial x} + v_y\frac{\partial c}{\partial y} = \nabla.\left(M\nabla\,(\frac{df_0}{dc} - K\Delta c)\right). \tag{10}$$

We consider system of equations (5), (6), (10) in a bounded domain Ω with the no-flux boundary conditions for the composition c and for the chemical potential μ, and the no-slip boundary conditions for the velocity. This system possesses the energy

$$E(t) = \int_\Omega \left(f_0(c) + \frac{K}{2}|\nabla c|^2 + \frac{1}{2}|v|^2\right) dxdy,$$

which decreases with time.

Linearizing df_0/dc about a homogeneous in space distribution $c = c_0$ and neglecting the fourth order term, we obtain the diffusion equation with the convective term

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v.\nabla c = d\Delta c, \tag{11}$$

where $d = K_2 + \frac{n_0 k_b T M}{c_0\,(1-c_0)}$.

The modelling presented below will basically concern the system (2.4), (2.11). In this case we can also write down the energy functional

$$E = \frac{1}{2}\int \left(|v|^2 + K\,|\nabla c|^2\right) dxdy,$$

where the first term is the energy of liquid motion and the second term corresponds to the nonlocal or capillary interaction. It allows one to prove existence of solutions and to show that it converges asymptotically in time to a homogeneous in space composition distribution with the zero velocity field [14]. However, if the diffusion is slow and composition gradients are sufficiently large, there can exist transient interfacial phenomena that can change the shape of the interface and initiate fluid flows.

III — INTERFACIAL WAVES

In the isothermal case under the assumption that the liquids have the same and constant density we have the system of equations

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} = d\Delta c, \tag{12}$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\Delta v_x - K\,\frac{\partial c}{\partial x}\,\Delta c, \tag{13}$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\Delta v_y - K\,\frac{\partial c}{\partial y}\,\Delta c, \tag{14}$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0. \tag{15}$$

Here c is the composition, $c = 0$ corresponds to one pure liquid and $c = 1$ to another one, $v = (v_x, v_y)$ is the velocity vector, ρ is the density, ν the kinematic viscosity, K is a positive parameter, d the diffusion coefficient.

This model describes various capillary phenomena and in particular capillary waves which appear when the curvature of the interface between two liquids varies in space creating a pressure difference. This is related to the capillary instability that can result in splitting of a jet into drops in immiscible liquids (see for example [8]).

We discuss here propagation of waves which we call interfacial to distinguish them from the capillary waves. They are also related to capillary phenomena but their manifestation and mechanism of propagation are different. Consider a plane interface between two liquids and suppose that its width differs in space. Then the effective interfacial tension, which is in the inverse proportion to the interface width, also varies in space creating a force directed along the interface. This force can lead to the motion of the interface and of the neighbouring liquid. Experimentally this effect can be observed if we change locally the interfacial tension by adding chemicals or by heating the interface.

We begin with a model problem that allows us to study behavior of solutions inside the transition zone [3]. We look for the solution of (12)-(15) in the form

$$v_x = u(x,t),\ v_y = yw(x,t),\ c = \frac{y}{\sqrt{K}}z(x,t),\ p = \rho\left(\frac{1}{2}y^2G(x,t) + \pi(x,t)\right).$$

and equate the terms with the same powers of y. We reduce (12)-(15) to the system

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u\frac{\partial z}{\partial x} - z\frac{\partial u}{\partial x} = d\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \tag{16}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} - z\frac{\partial z}{\partial x} = F + \nu\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \tag{17}$$

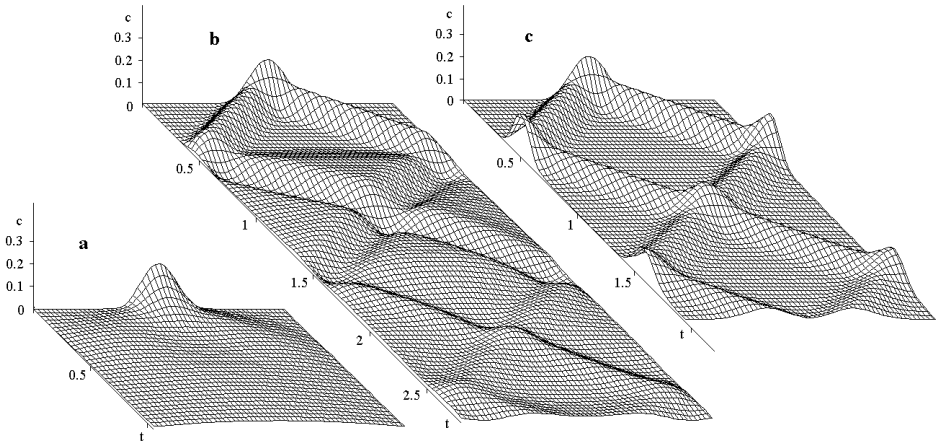


Figure 1: Evolution of the solution: a) $d = 10^{-2}$ cm^2/s, $\nu = 10^{-2}$ cm^2/s; b) $d = 10^{-5}, \nu = 10^{-3}$; c) $d = 10^{-2}, \nu = 10^{-3}$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = G_0 + 2\left((\frac{\partial u}{\partial x})^2 - (\frac{\partial z}{\partial x})^2\right). \tag{18}$$

We consider problem (12)-(15) in the strip $0 \le x \le 1$, $-\infty < y < \infty$ with the boundary conditions $x = 0, 1 : v_x = v_y = 0, \ \frac{\partial c}{\partial x} = 0$. The boundary conditions in the new variables become

$$x = 0, 1 : u = 0, \ \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \ \frac{\partial z}{\partial x} = 0. \tag{19}$$

We note that (16)-(19) is the system with respect to the unknown functions z, u, F. It contains two second order equations, one first order equation, and 6 boundary conditions. The function $G_0(t)$ should be chosen to satisfy the boundary conditions.

If we consider this system on the whole axis, then there exist travelling waves that can be found analytically. Numerical simulations show existence of waves on a bounded interval also. When the wave comes to the boundary, it reflects from it and goes in the opposite direction. Figures 1a - 1c show the time evolution of the z component of the solution. If d and ν are sufficiently large, then the perturbation rapidly decays and the solution converges to a spatially homogeneous distribution (Fig. 1a).

For the same d and for ν sufficiently small, there appears two waves propagating in the opposite directions, reflecting from the walls, going towards each other and so on periodically in time with a slowly decreasing amplitude (Fig. 1c). If d is much smaller than ν, then the structure of waves is different compared with the previous case. The beginning of their evolution is the same,

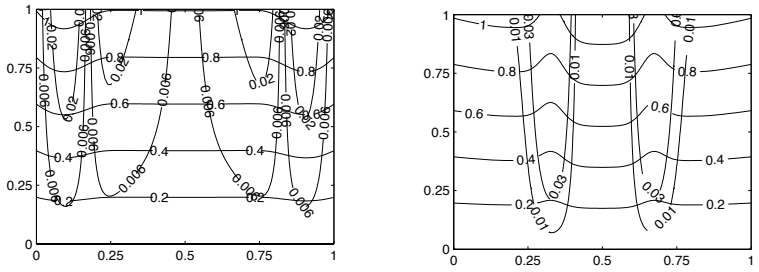


Figure 2: Level lines of the composition and of the stream function after: (*left*) 0.4 s, (*right*) 0.8 s; $d = 10^{-5}$ cm^2/s, $\nu = 10^{-3}$ cm^2/s

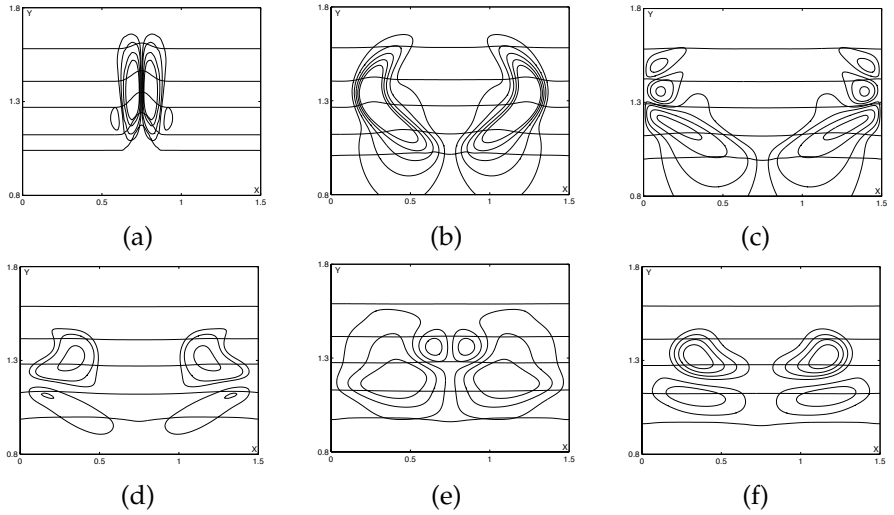


Figure 3: Level lines of the composition and of the stream function after: (a) 0.05 s, (b) 0.95 s, (c) 1.45 s, (d) 2.0 s, (e) 2.95 s, (f) 3.6 s

but after reflecting from the walls the sign of the perturbation changes: it is not the maximum of z which propagates but its minimum (Fig. 1b).

Fig. 2 shows level lines of the composition c and of the stream function $\psi = yu$ at two fixed moments of time, before and after the first reflection from the walls. The particular form of the solution, which is linear in y, implies that the level lines of the stream function are not closed. There are two vortices propagating in the opposite directions. They come to the walls reflect from them and at the same time change the sign, i.e., the direction of fluid motion. They come towards each other, disappear when they meet, and appear again propagating in the opposite directions. This scenario repeats periodically with decreasing amplitude.

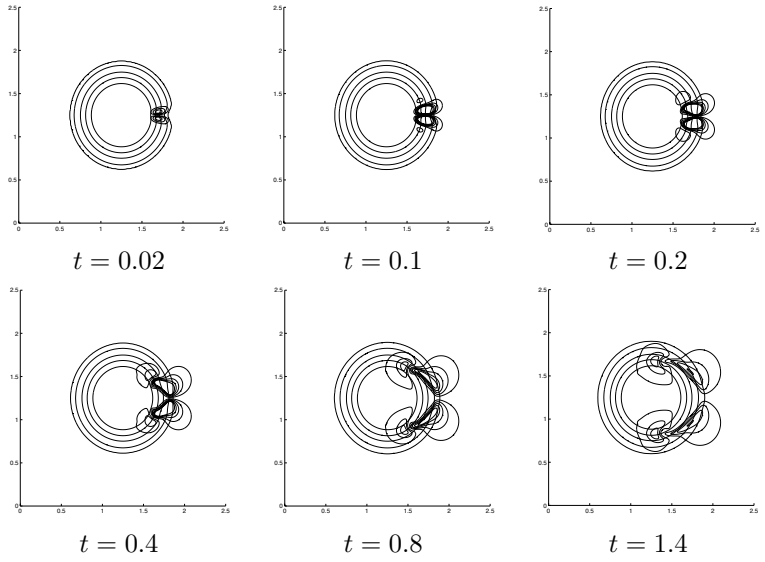


Figure 4: Perturbation of a circular drop: level lines of the composition and of the stream function

We discuss now numerical simulations of the complete problem. The variable interface width creates a force directed along the interface. This results in appearance of two vortices near the perturbation. They begin to propagate from the center of the domain to the side walls (Fig. 3b). The concentration perturbations propagate together with the vortices. Further dynamics is similar to that for the model problem. After hitting the wall the vortices change their structure and the direction of rotation (Fig. 3c), then they propagate to the center of the domain (Fig. 3d), meet there, cross each other, propagate further to the walls (Fig. 3e,f).

Propagation of the perturbation at the surface of the circular drop is shown in Figure 4. Initially the liquid is unmovable, the interface width is locally decreased. The perturbation of the interface creates convective motion and propagates along the interface in both directions.

1. Plane interfaces

It is well known that gradients at an immiscible interface can result in fluid flow due to surface tension induced convection (STIC). We propose that an analogous situation can result when a sharp linear concentration gradient is imposed between two miscible fluids. Such miscible interfacial phenomena can only be studied in the absence of buoyancy-driven convection. Thus it can only be studied in microgravity.

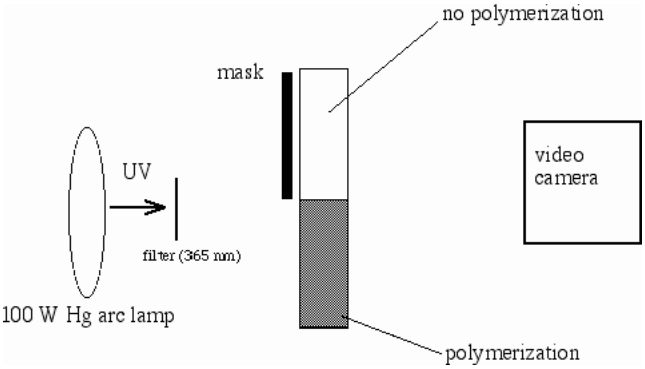


Figure 5: A schematic of the TIPMPS experiment in which UV light and a mask are used to create gradients between dodecyl acrylate and its miscible polymer.

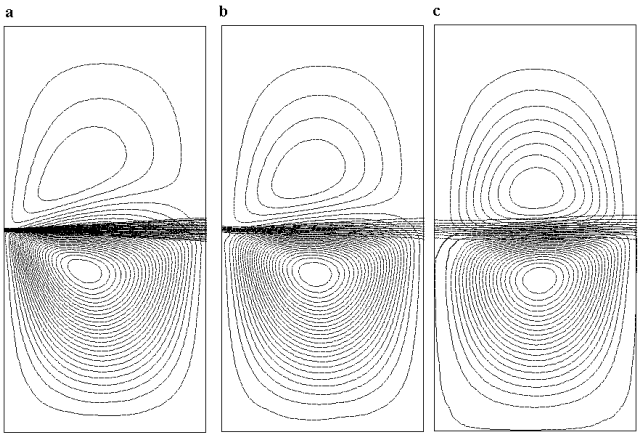


Figure 6: Convection induced by variable interface width: level lines of the composition and of the stream function, a) 1 s, b) 500 s, c) 5000 s.

A flight experiment exploring precisely this topic, Transient Interfacial Phenomena in Miscible Polymeric Systems (TIPMPS) is currently planned for the International Space Station [6]. We propose that temperature and/or concentration gradients in a miscible polymeric system, dodecyl acrylate/poly (dodecyl acrylate), will cause macroscopically observable fluid low.

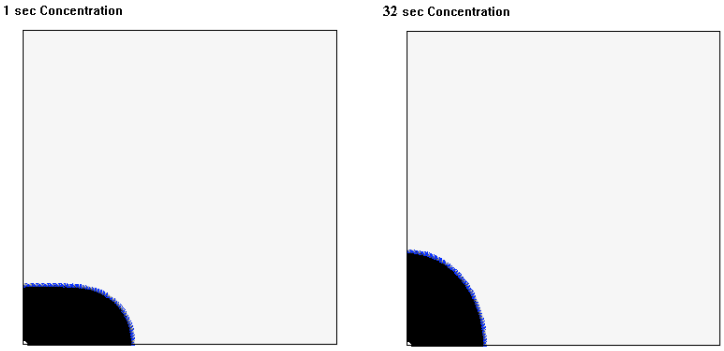
In TIPMPS, these gradients will be achieved with the photopolymerization of dodecyl acrylate using a mask to create the concentration gradients (Fig. 5).

There are several experimental situations. One of them, which we briefly de-

scribe here, corresponds to the case where the interface width changes linearly being narrower at the left and wider at the right. In this case the volume force directed along the interface creates a fluid flow shown in Figure 6 [4]. The fluid velocity is small but should be possible to measure experimentally.

IV — BEHAVIOR OF DROPS

In the immiscible case, a drop of a liquid surrounded by another liquid will minimize its surface and become spherical. What happens with miscible liquids? Numerical simulations show [5] that the drop becomes circular in the 2D case if the value of K is sufficiently large (Fig. 7) (see also [21], [14]). These simulations are carried out for the case of variable density and viscosity and correspond to a drop of water in honey. It is interesting to note that in the simulations shown in Figure 7 the drop oscillates being longer periodically in the x or in the y direction. Such behavior is well known for usual immiscible drops.



(a) (b)

Figure 7: A drop of water in honey.

So we have a simple "tea - honey" experiment that everyone can fulfil during the lunch time. What is far from being simple and requires modern high-tech experimental equipment is to measure very weak fluid flows and interface changes. Moreover in microgravity. Otherwise everything will be disturbed by natural convection.

If we complicate the experiment and take into account that the tea is hot and cools down from the surface, that is our drop is in a temperature gradient, then we are in the framework of another classical "drop" experiment. It is well known that immiscible drops and bubbles move in a temperature gradient because the interfacial tension depends on temperature. This creates a fluid flow that pushes the drop to the place with a higher temperature. The simulations show that miscible drops also migrate in temperature gradients

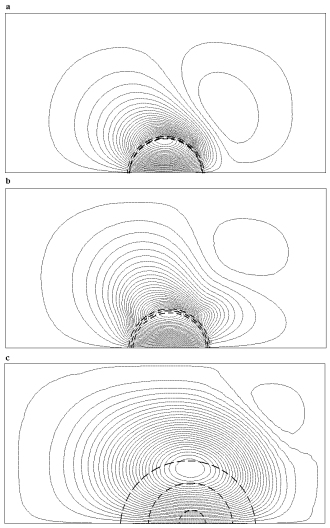
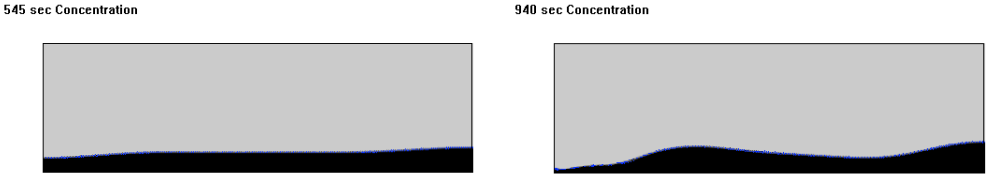


Figure 8: Migration of a miscible drop in a temperature gradient: level lines of the composition (dashed lines) and of the stream function (solid lines).

(Fig. 8). Here we assume that K decreases with temperature, and the temperature increases from the left to the right. The pressure inside the drop is practically constant and higher than the pressure outside the drop. This result corresponds to analytical estimates [2].



(a) (b)

Figure 9: Capillary instability without diffusion.

Our last experiment concerns miscible jets, long cylindrical drops. In the immiscible case there exists the capillary instability that can split the jet into small drops. In the miscible case it depends on the diffusion coefficient. If it is small, the instability can be observed (Fig. 9). In the water-honey case it does not occur.

V — SPINNING DROP TENSIOMETRY

One of the key questions arsing when we try to compare the theory with experiments is how to find the value of K in the Korteweg stress. In this section we briefly discuss the technique based on spinning drop tensiometry. It was first used by B. Vonnegut [22] as means to measure interfacial tensions in immiscible fluids. He proposed that the interfacial tension between two immiscible fluids could be determined from the shape of a drop of a less dense solution rotated in a more dense bulk fluid. He demonstrated that for a drop whose length was significantly larger than its radius $(L/r > 4)$, the drop could be approximated as a cylinder. For such a drop the interfacial tension, σ, was related to the radius, r, the difference in density between the two fluids, $\delta\rho$, and the rate of rotation, ω, by:

$$\sigma = \frac{\delta\rho\,\omega^2 r^3}{4}\ . \tag{20}$$

In our experiment we used a spinning drop tensiometer to explore miscible fluid behavior. Two differences exist in studying miscible systems instead of the traditional immiscible systems. First of all a miscible system by definition cannot possess a real interface or interfacial tension. Assuming an interfacial tension of zero would imply that the drop should relax to an infinite length of zero radius when rotated. Without a counteracting interfacial force the drop would approach the mechanically stable situation with the less dense solution occupying the region closest to the rotational axis. Previous work by Pojman et al. [18] has demonstrated that a miscible drop will reach a quasi-steady non-zero radius. Likewise Petitjeans [16] used spinning drop tensiometry to measure the effective interfacial tension (EIT) of a glycerin/water system to be about 0.6 mN/m. This is about 100 times less than the interfacial tension at the water/air interface.

Figure 10 illustrates the right-hand side of (20) as a function of time for different rotation rates. This function initially follows an exponential decay and then approaches an asymptotic value. This means that the drop radius stabilizes. We could expect that the drop radius would increase because of diffusion. However, rotation moves a part of the liquid inside the drop from the side surface to the ends of cylinder stabilizing its radius and increasing its length. Thus, formula (20), where r should be understood as the observable radius, is well defined, and can be interpreted as effective interfacial tension. For immiscible system it has been found that the interfacial tension becomes independent of the rotation rate for high enough values [10], which is exactly what we observe in Figure 10.† Thus, it seems likely that indeed we are measuring the effective interfacial tension using this method.

Using the estimate of the effective interfacial tension and its approximate expression $\sigma = K(\Delta c)^2/\delta$ [23], where Δc is the concentration change across the

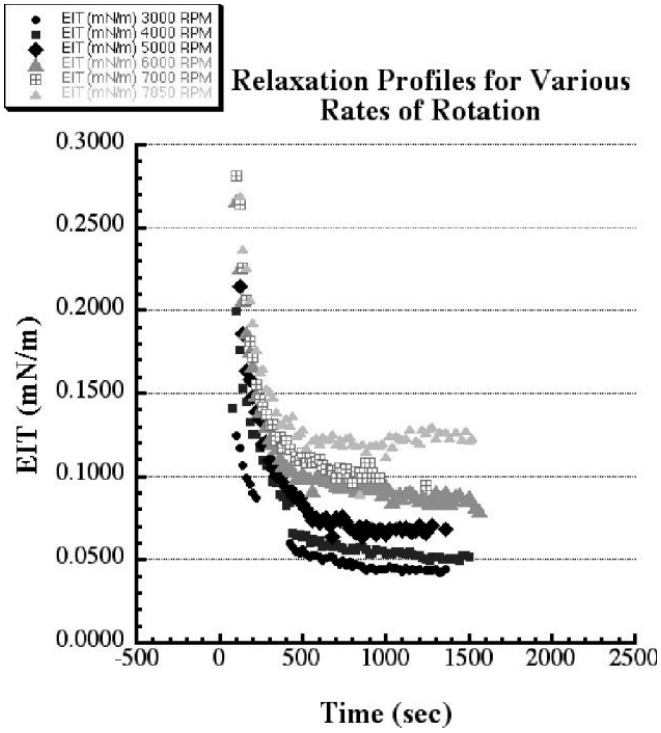


Figure 10: Effective interfacial tension as a funtion of time.

transition zone and δ is its width, we can find the square gradient parameter K used in the simulations.

Acknowledgements. Support for this work was partially provided by NASA's Microgravity Materials Science Program (NAG8-1466), by the CNRS through the project PICS No. 1012 and research associate positions (S. Aristov, I. Kostin), by the Region Rhône-Alpes through the project "Tempra" and a visiting research position (L. Mirantsev), and by the French Ministry of Education through a post-doctoral position (Yu. Gaponenko).

The authors would like to thank the colleagues and the institutions mentioned above, and also M. Marion, R. Texier-Picard for their contribution in the theoretical part of the work, Yu. Chekanov and B. Zoltowski for the spinning drop results, and H. Wilke for assistance in validating the Korteweg simulations.

REFERENCES

[1] D.M. Anderson, G.B. McFadden, A.A. Wheeler. Diffuse interface methods in fluid mechanics, Ann. Rev. Fluid Mech., 30 (1998) 139-165.

[2] L.K. Antanovskii. Microscale theory of surface tension, Physical Review E, 54 (1996), No. 6, 6285-6290.

[3] S. Aristov, N. Bessonov, Yu. Gaponenko, V. Volpert. Interfacal waves in binary fluids, In: Patterns and waves, A. Abramian, S. Vakulenko, V. Volpert, Eds., 2003, 79-97.

[4] N. Bessonov, J. Pojman, V. Volpert. Modelling of diffuse interfaces with temperature gradients. J. of Engineering Mathematics, to appear.

[5] N. Bessonov, J. Pojman, V. Volpert. Miscible fluids in microgravity. AIAA-2004-962, Reno, 2003.

[6] N. Bessonov, J. Pojman, V. Volpert. Numerical simulations of transient interfacial phenomena in miscible fluids. AIAA-2004-631, Reno. 2003.

[7] J.W. Cahn, J.E. Hilliard. Free energy of a nonuniform system, I. Interfacial free energy, J. Chem. Phys. 28 (1958) 258-267.

[8] S. Chandrasekhar, *Hydrodynamic and hydromagnetic stability*, Dover, New York, 1981.

[9] C.-Y. Chen, E. Meiburg. Miscible displacements in capillary tubes: Influence of Korteweg stresses and divergence effects. Phys. Fluids, 14 (2003) 2052-2058.

[10] H. H. Hu, D. D. Joseph. Evolution of a liquid drop in a spinning drop tensiometer, J. Colloid Interface Sci. 162 (1994) 331-339.

[11] D. Jacqmin. Contact-line dynamics of a diffuse fluid interface, J. Fluid Mech., 402 (2000) 57-88.

[12] D.D. Joseph, Y.Y. Renardy. Lubricated transport, drops and miscible fluids, in: Fundamentals of Two-Fluid Dynamics, Springer, New-York, 1992.

[13] D.J. Korteweg. Sur la forme que prennent les équations du mouvement des fluides si l'on tient compte des forces capillaires causées par des variations de densité considérables mais connues et sur la théorie de la capillarité dans l'hypothèse d'une variation continue de la densité, Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles, 6 (1901) 1-24.

[14] I. Kostin, M. Marion, R. Texier-Picard, V. Volpert. Modelling of miscible liquids with the Korteweg stress. M2AN, **37** (2003) No. 5, pp. 741-754.

[15] L. Mirantsev, I. Kostin, V. Volpert. Mean field theory of miscible liquids, unpublished.

[16] P. Petitjeans. Une tension de surface pour les fluides miscibles, C.R. Acad. Sci. Paris, Série II b 322 (1996) 673-679.

[17] P. Petitjeans. Fluides non miscible/fluides miscibles:† des similitudes intéressantes, C.R. Acad. Sci. Paris, Série II b 325 (1997) 587-592.

[18] J. Pojman, R. Parker, B. Zoltowski. Definitive evidence for the existence of an effective interfacial tension between miscible fluids: isobutyric acid and water in a spinning drop tensiometer, submited.

[19] I. Rousar, E.B. Nauman. A continuum analysis of surface tension in nonequilibrium systems, Chem. Eng. Comm. 129 (1994) 19-28.

[20] J.S. Rowlinson. Translation of J.D. van der Waals' "The thermodynamic theory of capillarity under hypothesis of a continuous variation of density", J. Stat. Physics, 20 (1979), No. 2, 197-244.

[21] V. Volpert, J. Pojman, R. Texier. Convection induced by composition gradients in miscible systems. CRAS, Serie II b, 330 (2002) 353-358.

[22] B. Vonnegut. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. Rev. Sci. Instrum., 13 (1942), 6-9.

[23] Y.B. Zeldovich. About surface tension of a boundary between two mutually soluble liquids, Zhur. Fiz. Khim. 23 (in Russian) (1949) 931-935.

THE MULTIPARAMETER CONJUGATE GRADIENT ALGORITHM

par F. Bantegnies * C. Brezinski†

Abstract

We first describe projection and Krylov subspace methods for the solution of systems of linear equations. Then, the Lanczos method is presented on the basis of formal orthogonality. Among the recurrences obtained from this approach are the biconjugate gradient algorithm and the conjugate gradient algorithm when the matrix is symmetric and positive definite. In this algorithm, instead of using only one parameter, we introduce a matrix of parameters thus leading to the multiparameter conjugate gradient algorithm. Some algebraic properties of this algorithm are proved and its convergence is studied. New results are also given.

I — INTRODUCTION

We consider a system of linear equations $Ax = b$. A *projection method* for its solution consists, starting from an arbitrary vector x_0, in constructing a sequence of vectors (x_k) satisfying the two conditions

$$x_k - x_0 \in \mathcal{K}_k \quad (1)$$

$$r_k = b - Ax_k \perp \mathcal{L}_k \quad (2)$$

where $\mathcal{K}_k$ and $\mathcal{L}_k$ are subspaces of dimension k.

Let G be a matrix and u a vector. We denote by $K_k(G, u)$ the *Krylov subspace* $K_k(G, u) = \text{span}(u, Gu, \ldots, G^{k-1}u)$. If $\mathcal{K}_k = K_k(A, r_0)$, the projection method is called a *Krylov subspace method*.

There exists several Krylov subspace methods according to the choice of $\mathcal{L}_k$, see [2, 9, 13]

1. Arnoldi method: $\mathcal{L}_k = K_k(A, r_0)$,
2. Lanczos method: $\mathcal{L}_k = K_k(A^T, y)$ where y is a nonzero vector,
3. GMRES: $\mathcal{L}_k = A \cdot K_k(A, r_0)$.

*64 rue de Strasbourg, 92400 – Courbevoie, France. E-mail: florence.bantegnies1@fnac.net

†Laboratoire de Mathématiques Appliquées, UFR de Mathématiques Pures et Appliquées, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 – Villeneuve d'Ascq cedex, France. E–mail: Claude.Brezinski@univ-lille1.fr

In this paper we will only consider the Lanczos method [11]. The condition (1) writes

$$x_k - x_0 = -a_1 r_0 - a_2 A r_0 - \cdots - a_k A^{k-1} r_0.$$

Multiplying both sides by A, adding and subtracting b in the left hand side gives

$$r_k = r_0 + a_1 A r_0 + \cdots + a_k A^k r_0.$$

Setting

$$P_k(\xi) = 1 + a_1 \xi + \cdots + a_k \xi^k,$$

We have

$$r_k = P_k(A) r_0.$$

The conditions (2), called the *orthogonality conditions*, can be rewritten as

$$(r_k, (A^T)^i y) = (A^i r_k, y) = (A^i P_k(A) r_0, y) = 0, \quad i = 0, \ldots, k-1.$$

If we define the linear functional c acting on the space of polynomials by $c(\xi^i) = (A^i r_0, y)$, $i = 0, 1, \ldots$, then the preceding orthogonality conditions become

$$c(\xi^i P_k(\xi)) = 0, \quad i = 0, \ldots, k-1$$

which shows that P_k belongs to the family of *formal orthogonal polynomials* with respect to c. These polynomials, which extend the usual orthogonal polynomials, have been studied in details in [1].

Of course, from the computational point of view, it is impossible to compute the polynomials P_k by solving the system of linear equations given by the orthogonality conditions. But, since these polynomials are formal orthogonal polynomials, they satisfy several recurrence relationships. Using these recurrences leads to several algorithms for the implementation of Lanczos method : Lanczos/Orthomin, Lanczos/Orthodir, Lanczos/Orthores, etc. These algorithms have been systematically studied in [7], and the theory of formal orthogonal polynomials simplifies their derivation as demonstrated in [5, 6]. Among these algorithms is the *biconjugate gradient algorithm* (BCG) of Fletcher [8] which reduces, when the matrix A is symmetric and positive definite, to the famous *conjugate gradient algorithm* (CG) of Hestenes and Stiefel [10].

It is well–known that the conjugate gradient algorithm possesses minimization properties. Let A be a $n \times n$, symmetric and positive definite matrix. The vector $x = A^{-1}b$ is the only vector which minimizes the quadratic convex functional J defined by

$$\forall u \in \mathbb{R}^n, \quad J(u) = \frac{1}{2}(u, Au) - (u, b).$$

Thus, minimizing this functional or solving the system is the same problem.

In the conjugate gradient algorithm, iterations of the form

$$x_{k+1} = x_k + \lambda_k z_k, \quad k = 0, 1, \ldots$$

are considered, where λ_k is a parameter chosen to minimize $J(x_{k+1})$, and $\{z_0, z_1, \ldots\}$ a set of A–conjugate vectors, that is such that $\forall i \neq j$, $z_i^T A z_j = 0$.

In this relation, we see that all components of the vector z_k are multiplied by the same parameter λ_k. However, in practice, the components of z_k can exhibit a quite different behavior. This is for example the case when they represent different physical quantities as in the discretization of partial differential equations. So, instead of using the same parameter λ_k, it is possible to use a different one for each component (or block of components), that is a matrix Λ_k. This idea, introduced in [4], has proved to be quite effective. We will now apply it to the conjugate gradient algorithm and prove the corresponding theoretical results. Additional results, also valid for the classical conjugate gradient algorithm, will be given.

II — THE MULTIPARAMETER CONJUGATE GRADIENT

The *multiparameter conjugate gradient* (MPCG) *algorithm* consists of iterations of the form

$$x_{k+1} = x_k + Z_k \Lambda_k, \quad k = 0, 1, \ldots, \tag{3}$$

with $Z_k \in \mathbb{R}^{n \times \nu}$, $\Lambda_k \in \mathbb{R}^{\nu}$, and where the *descent matrices* $Z_0, Z_1, \ldots$ satisfy the *A–conjugacy* property

$$Z_i^T A Z_j = 0, \quad \forall i \neq j.$$

As we will see below, such matrices could be computed recursively. The vector Λ_k is chosen to minimize the functional $u \in \mathbb{R}^{\nu} \longmapsto J(x_{k+1}) = J(x_k + Z_k u)$.

If Z_k is a full rank $n \times \nu$ matrix, the matrix $Z_k^T A Z_k$ is symmetric and positive definite and, since

$$J(x_k + Z_k u) = J(x_k) + J_k(u),$$

where

$$J_k(u) = \frac{1}{2}(Z_k^T A Z_k u, u) - (u, Z_k^T r_k),$$

$J(x_k + Z_k u)$ is minimum if and only if $J_k(u)$ is minimum, that is if and only if

$$\Lambda_k = (Z_k^T A Z_k)^{-1} Z_k^T r_k. \tag{4}$$

The MPCG algorithm was introduced in [3] as a generalization of the CG algorithm. It was justified by the interest of using a different parameter λ_k for the various components of the vector z_k. This case arises, for example, in a system coming out from the discretization of partial differential equations when the components of the solution represent various physical quantities

whose iterates behave quite differently. The recurrences used in the MPCG algorithm are, in fact, the same as those of O'Leary in her block conjugate gradient algorithm [12]. However, O'Leary mostly developed her algorithm for the solution of a system of linear equations with several right hand sides. In particular, she allows deflation to avoid singularity of the matrices to be inverted at each iteration. Some of the algebraic properties of the MPCG algorithm were proved in [12], while others are given in [3]. However, this algorithm still lacks of theoretical results and it is the aim of this paper to study it in more details, and to provide some additional properties, in particular about its convergence.

1. The conjugate descent matrices

We denote by $r_k = b - Ax_k$ the residual vector. In the sequel, R_i and Z_i are $n \times \nu$ matrices and L_i and B_i are $\nu \times \nu$ matrices.

We set $R_0 = Z_0$, where Z_0 has rank ν and we consider the recurrence relationships

$$R_{i+1} = R_i - AZ_iL_i \tag{5}$$
$$Z_{i+1} = R_{i+1} + Z_iB_i, \tag{6}$$

where the matrices L_i and B_i satisfy the conditions

$$(H_i): \quad Z_i^T R_{i+1} = 0 \text{ and } Z_i^T AZ_{i+1} = 0.$$

We only consider the integers k such that, for $i = 0, \ldots, k$, Z_i has full rank ν. We are going to prove that these relations completely define the A–conjugate descent matrices $Z_0, Z_1, \ldots, Z_k$. These relations which, together with (3) and (4), form the MPCG algorithm are the same as those of O'Leary in her block conjugate gradient algorithm [12].

The conditions (H_i) define exactly the matrices L_i and B_i if Z_i has full rank ν. Since the matrix $Z_i^T AZ_i$ is nonsingular, the relations $Z_i^T R_{i+1} = 0$ and $Z_i^T AZ_{i+1} = 0$ provide

$$L_i = (Z_i^T AZ_i)^{-1} Z_i^T R_i \text{ and } B_i = -(Z_i^T AZ_i)^{-1} Z_i^T AR_{i+1}. \tag{7}$$

We have the following properties

Property 1
If R_{k+1} and Z_{k+1} are defined, then $R_k^T R_{k+1} = 0$ and $Z_k^T R_k = R_k^T R_k$.

Proof.
a) If $k = 0$, $R_0^T R_1 = Z_0^T R_1 = 0$ by (H_0).
If $k \geq 1$, using (H_k) and (6), as $Z_k^T R_{k+1} = 0$, we have

$$Z_k^T R_{k+1} = (R_k + Z_{k-1}B_{k-1})^T R_{k+1}$$

$$\begin{aligned} &= R_k^T R_{k+1} + B_{k-1}^T Z_{k-1}^T R_{k+1} \\ &= R_k^T R_{k+1} + B_{k-1}^T Z_{k-1}^T (R_k - AZ_k L_k) \end{aligned}$$

by (5). Thus

$$0 = R_k^T R_{k+1} + B_{k-1}^T (Z_{k-1}^T R_k) - B_{k-1}^T (Z_{k-1}^T A Z_k) L_k.$$

The second and third terms are equal to zero by using (H_{k-1}) and so $R_k^T R_{k+1} = 0$.
b) If $k = 0$, $Z_0^T R_0 = R_0^T R_0$ since $Z_0 = R_0$.
If $k \geq 1$, then by (6),

$$\begin{aligned} Z_k^T R_k &= (R_k + Z_{k-1} B_{k-1})^T R_k \\ &= R_k^T R_k + B_{k-1}^T (Z_{k-1}^T R_k) \\ &= R_k^T R_k. \ \blacksquare \end{aligned}$$

Property 2
If R_{k+1} and Z_{k+1} are defined, then, for $i = 0, \ldots, k$, R_i has full rank ν. Moreover, if Z_{k+1} has full rank ν, then R_{k+1} has also full rank ν.

Proof.
Since $R_0 = Z_0$, Z_0 and R_0 have the same rank.
If $1 \leq i \leq k+1$ and if $X \in \mathbb{R}^\nu$ satisfies $R_i X = 0$, then, by (7)

$$B_{i-1} X = -(Z_{i-1}^T A Z_{i-1})^{-1} (Z_{i-1}^T A)(R_i X) = 0,$$

and, by (6),

$$Z_i X = R_i X + Z_{i-1} B_{i-1} X = R_i X = 0.$$

Since the matrix $Z_i \in \mathbb{R}^{n \times \nu}$ has full rank, then $X = 0$.
Thus, the matrix $R_i \in \mathbb{R}^{n \times \nu}$ is such that $R_i X = 0$ implies $X = 0$, and so its rank is equal to ν. $\blacksquare$

We have the

Corollary 1
If, for $i = 0, \ldots, k$, Z_i has full rank, then L_i is nonsingular and $L_i = (Z_i^T A Z_i)^{-1} (R_i^T R_i)$.

Proof.
By Property 1,

$$L_i = (Z_i^T A Z_i)^{-1} (Z_i^T R_i) = (Z_i^T A Z_i)^{-1} (R_i^T R_i), \quad i = 0, \ldots, k.$$

$R_i^T R_i$ is a $n \times n$ matrix and its rank is equal to the rank of R_i. By Property 2, $R_i^T R_i$ is a nonsingular matrix, and so is L_i. $\blacksquare$

Property 3
If, for $i = 0, \ldots, k$, Z_i has full rank, then

$$
\begin{array}{lll}
(P_k): & \forall k \geq 1, & \\
 & (a)\ Z_i^T R_k = 0, & i = 0, \ldots, k-1, \\
 & (b)\ R_i^T R_k = 0, & i = 0, \ldots, k-1, \\
 & (d)\ Z_i^T A Z_k = 0, & i = 0, \ldots, k-1, \\
 & \forall k \geq 2, & \\
 & (c)\ Z_i^T A R_k = 0, & i = 0, \ldots, k-2.
\end{array}
$$

Proof.
The property will be proved by induction on k.

(P_1) is a consequence of $Z_0 = R_0$ and of (H_0).

For proving (P_2) we have for (a)

$$
\begin{aligned}
Z_0^T R_2 &= Z_0^T (R_1 - A Z_1 L_1) \\
&= Z_0^T R_1 - (Z_0^T A Z_1) L_1 = 0
\end{aligned}
$$

by (5) and (H_0). We also have $Z_1^T R_2 = 0$ by (H_1).

(b): $R_0^T R_2 = Z_0^T R_2 = 0$ by (a) and $R_1^T R_2 = 0$ by (H_0).

(c) : by (b), it holds $R_1^T R_2 = 0$ and $R_0^T R_2 = 0$. Thus $(R_1 - R_0)^T R_2 = 0$.
Thanks to (5), $(-A Z_0 L_0)^T R_2 = 0$, that is $L_0^T Z_0^T A^T R_2 = 0$ and, since L_0 is non singular, $Z_0^T A R_0 = 0$.

(d) : by (H_0), $Z_0^T A Z_1 = 0$, and by (c), $Z_0^T A R_2 = 0$. So we get from (6)

$$Z_0^T A Z_2 = Z_0^T A R_2 + Z_0^T A Z_1 B_1 = 0.$$

We assume that (P_k) is true (and $k \geq 2$), and that the matrix Z_k has full rank ν. We can define R_{k+1} and Z_{k+1}.
(a) : by the induction hypothesis and the relation (5), we have, for $i = 0, \cdots, k-1$,

$$Z_i^T R_{k+1} = Z_i^T R_k - (Z_i^T A Z_k) L_k = 0$$

and by (H_k)

$$Z_k^T R_{k+1} = 0.$$

(b): by using (a), we get

$$R_0^T R_{k+1} = Z_0^T R_{k+1} = 0.$$

Using (6) for $i = 0, \ldots, k$ and (a), we get

$$
\begin{aligned}
R_i^T R_{k+1} &= (Z_i - Z_{i-1} B_{i-1})^T R_{k+1} \\
&= Z_i^T R_{k+1} - B_{i-1}^T (Z_{i-1}^T R_{k+1}) = 0.
\end{aligned}
$$

(c) : since the matrix L_i is nonsingular for $i = 0, \ldots, k-1$, we have from (5)

$$\begin{aligned} Z_i^T A R_{k+1} &= (AZ_i)^T R_{k+1} \\ &= \left[(R_i - R_{i+1})L_i^{-1}\right]^T R_{k+1}. \end{aligned}$$

Then, as $i \in \{0, \ldots, k-1\}$, we get from (c)

$$Z_i^T A R_{k+1} = L_i^{-T}(R_i^T R_{k+1} - R_{i+1}^T R_{k+1}) = 0.$$

(d): by using first (c) and then (P_k), we have

$$Z_i^T A Z_{k+1} = Z_i^T A R_{k+1} + (Z_i^T A Z_k)B_k = 0, \quad i = 0, \ldots, k-1,$$

and $Z_k^T A Z_{k+1} = 0$ follows from (H_k).
So, the property (P_{k+1}) is true by induction. ■

Corollary 2
If i and k are integers such that, $\forall j \leq \max(i,k)$, the rank of Z_j is equal to ν, then

$$\begin{array}{lll} \forall i \neq k, & R_i^T R_k = 0, & Z_i^t A Z_k = 0, \\ \forall i = 0, \ldots, k-1, & Z_i^T R_k = 0, & \\ \forall k, & R_k^T R_k = Z_k^T R_k, & \\ \forall i = 0, \ldots, k-2, & Z_i^T A R_k = 0, & Z_i^T A^2 Z_k = 0. \end{array}$$

Proof.
The first result is a consequence of the property

$$\forall i < k, \quad R_i^T R_k = 0 \quad \text{and} \quad Z_i^T A Z_k = 0$$

and of the symmetric roles of i and k.
The next three results were proved in Property 3.
We still have to prove that, for $i = 0, \ldots, k-2$, $Z_i^T A^2 Z_k = 0$. Thanks to (5) and since L_k is nonsingular,

$$\begin{aligned} Z_i^T A^2 Z_k &= Z_i^T A(AZ_k) \\ &= Z_i^T A(R_k - R_{k+1})L_k^{-1} \\ &= (Z_i^T A R_k - Z_i^T A R_{k+1})L_k^{-1} = 0. \end{aligned}$$

by using part (d) of the assumptions (P_k) and (P_{k+1}) in Property 3. ■

Property 4
If k is an integer such that Z_i has full rank for $i = 0, \ldots, k$, then

$$B_k = (R_k^T R_k)^{-1} R_{k+1}^T R_{k+1}.$$

Proof.
By (6) and the A–conjugacy property

$$\begin{aligned}(Z_k^T AZ_k)B_k &= Z_k^T A(Z_k B_k)\\ &= Z_k^T A(Z_{k+1} - R_{k+1})\\ &= Z_k^T AZ_{k+1} - Z_k^T AR_{k+1}\\ &= -(AZ_k)^T R_{k+1}.\end{aligned}$$

Thus, from (5) and since $R_k^T R_{k+1} = 0$

$$\begin{aligned}(Z_k^T AZ_k)B_k &= \left[(R_{k+1} - R_k)L_k^{-1}\right]^T R_{k+1}\\ &= (L_k)^{-T}\left(R_{k+1}^T R_{k+1} - R_k^T R_{k+1}\right)\\ &= (L_k)^{-T} R_{k+1}^T R_{k+1}.\end{aligned}$$

If we use the value of L_k that we have obtained in Corollary 1, we get

$$\begin{aligned}(Z_k^T AZ_k)B_k &= \left[\left(R_k^T R_k\right)^T \left(Z_k^T AZ_k\right)^{-T}\right]^{-1} R_{k+1}^T R_{k+1}\\ &= \left(Z_k^T AZ_k\right)\left(R_k^T R_k\right)^{-1} R_{k+1}^T R_{k+1}.\end{aligned}$$

Since $Z_k^T AZ_k$ is a non singular matrix, we get

$$B_k = \left(R_k^T R_k\right)^{-1} R_{k+1}^T R_{k+1}. \blacksquare$$

Corollary 3
If, for $i = 0, \ldots, k$, Z_i has full rang ν, then Z_{k+1} has full rank ν if and only if R_{k+1} has full rank ν.

Proof.
By Property 2, we only have to prove that if R_{k+1} has full rank ν then Z_{k+1} has also full rank ν. If X is a vector of $\mathbb{R}^\nu$ such as $Z_{k+1}X = 0$ then by (6)

$$R_{k+1}X + Z_k B_k X = 0.$$

Multiplying by R_k^T, we get

$$R_k^T R_{k+1}X + R_k^T Z_k B_k X = 0.$$

By Property 1, $R_k^T R_{k+1} = 0$, and $R_k^T Z_k = R_k^T R_k$. Using the expression of B_k given in Property 4, we get

$$0 = (R_k^T Z_k)B_k X = (R_k^T R_k).\left[\left(R_k^T R_k\right)^{-1}\left(R_{k+1}^T R_{k+1}\right)\right] X$$

and we obtain $(R_{k+1}^T R_{k+1})X = 0$. Thus $R_{k+1}^T R_{k+1}$ has the same rank ν as R_{k+1}, it is a nonsingular matrix, so $X = 0$. Thus, we have proved that the matrix $Z_{k+1} \in \mathbb{R}^{n\times\nu}$ has full rank ν. $\blacksquare$

Let us now consider the particular case where the matrices R_0 and Z_0 are obtained by partitioning the initial residual vector r_0. For this choice, a supplementary property will be obtained.

We choose x_0 in $\mathbb{R}^n$ and we set $r_0 = b - Ax_0$. We partition the vector r_0 into ν nonzero blocks $r_0^1, r_0^2, \ldots, r_0^\nu$ and we consider the $n \times \nu$ matrices

$$Z_0 = R_0 = \begin{pmatrix} r_0^1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_0^2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & r_0^\nu \end{pmatrix}. \tag{8}$$

We have to assume that none of the blocks r_0^i is zero since, otherwise, the matrix $Z_0^T A Z_0$ will be singular and the algorithm will have to be stopped (a numerical example of this situation will be given below).

We set $e = (1, 1, \ldots, 1)^T \in \mathbb{R}^\nu$. If, for $i = 0, \ldots, k$, the matrix Z_i has rank ν, we consider the iterations

$$x_{i+1} = x_i + Z_i \Lambda_i, \quad i = 0, 1, \ldots, k-1,$$

where

$$\Lambda_i = \left(Z_i^T A Z_i\right)^{-1} Z_i^T r_i,$$

and $r_i = b - Ax_i$.

In this case, the following property holds

Property 5
For $i = 0, \ldots, k$, we have

$$R_i e = r_i, \quad L_i e = \Lambda_i \quad \textit{and} \quad Z_i^T r_i = Z_i^T r_0.$$

Proof.
The result is obvious for $i = 0$ since $R_0 e = r_0$. Assuming that the property is true for the index i, then by (5)

$$\begin{aligned} R_{i+1} e &= R_i e - A Z_i L_i e \\ &= r_i - A Z_i \Lambda_i \\ &= b - A x_{i+1} = r_{i+1}. \end{aligned}$$

It follows that $L_{i+1} e = \Lambda_{i+1}$. Since, for $j = 0, \cdots, i$, $x_{j+1} = x_j + Z_j \Lambda_j$, we have

$$\begin{aligned} r_{i+1} &= b - A x_{i+1} \\ &= b - A x_0 - A \sum_{j=0}^{i} Z_j \Lambda_j. \end{aligned}$$

Thus

$$Z_{i+1}^T r_{i+1} = Z_{i+1}^T r_0 - \sum_{j=0}^{i} Z_{i+1}^T A Z_j \Lambda_j$$

and, by the property of A–conjugacy, $Z_{i+1}^T r_{i+1} = Z_{i+1}^T r_0$. ■

Remark 1
It must be noticed that, for $i \geq 1$, the matrices Z_i and R_i do not have, in general, the same diagonal–like structure as $Z_0 = R_0$ in (8).

2. Minimization property of the iterates

In this Section, we assume that, for $i = 0, \ldots, k$, Z_i has rank ν. Then, we have the

Property 6
For all $i \leq k$, the functional $(u_0, u_1, \ldots, u_i) \longmapsto J(x_0 + Z_0 u_0 + Z_1 u_1 + \cdots + Z_i u_i)$ is minimum for $(u_0, u_1, \ldots, u_i) = (\Lambda_0, \Lambda_1, \ldots, \Lambda_i)$ where $\Lambda_j = \left(Z_j^T A Z_j\right)^{-1} Z_j^T r_j$.

Proof.
If $i = 0$, the property is true thanks to the definition of Λ_0.
Let us assume that it is true for the index i. We have

$$J(u + h) = J(u) + \frac{1}{2}(h, Ah) - (h, b - Au).$$

We set $t = Z_0 u_0 + Z_1 u_1 + \ldots + Z_i u_i$, $u = x_0 + t$ and $h = Z_{i+1} u_{i+1}$. Then

$$\begin{aligned} J(x_0 + Z_0 u_0 + \ldots + Z_{i+1} u_{i+1}) &= J(x_0 + t) + \frac{1}{2}(Z_{i+1} u_{i+1}, A Z_{i+1} u_{i+1}) \\ &\quad - (Z_{i+1} u_{i+1}, b - A x_0 - A t) \\ &= J(x_0 + t) + \frac{1}{2}(u_{i+1}, Z_{i+1}^T A Z_{i+1} u_{i+1}) \\ &\quad - (u_{i+1}, Z_{i+1}^T r_0) + (u_{i+1}, Z_{i+1}^T A t). \end{aligned}$$

Thanks to the A–conjugacy of the descent matrices, it holds $Z_{i+1}^T A t = 0$. Thus, the functional J is minimum if and only if the functionals

$$(u_0, u_1, \ldots, u_i) \longmapsto J(x_0 + Z_0 u_0 + Z_1 u_1 + \cdots + Z_i u_i)$$

and

$$J_{i+1} \ : \ u_{i+1} \longmapsto \frac{1}{2}(u_{i+1}, Z_{i+1}^T A Z_{i+1} u_{i+1}) - (u_{i+1}, Z_{i+1}^T r_0)$$

are minimum. If we use the induction hypothesis and the properties of convexity of the functional J_{i+1}, J is minimum if and only if

$$(u_0, u_1, \ldots u_i) = (\Lambda_0, \Lambda_1, \ldots, \Lambda_i)$$

and

$$\begin{aligned} u_{i+1} &= \left(Z_{i+1}^T A Z_{i+1}\right)^{-1} Z_{i+1}^T r_0 \\ &= \left(Z_{i+1}^T A Z_{i+1}\right)^{-1} Z_{i+1}^T r_{i+1} \\ &= \Lambda_{i+1}. \ \blacksquare \end{aligned}$$

If we set, $\|y\|_A^2 = (y, Ay)$ for $y \in \mathbb{R}^n$, and if x is the solution of $Ax = b$, then

$$\begin{aligned} \|x - y\|_A^2 &= (Ax - Ay, x - y) \\ &= (b, x) + (Ay, y) - (Ax, y) - (y, Ax) \\ &= (b, x) + (Ay, y) - 2(b, y) \\ &= (b, x) + 2\, J(y). \end{aligned}$$

Then

$$\|x - x_0 - Z_0 u_0 - \cdots - Z_{k-1} u_{k-1}\|_A^2 = (b, x) + 2J(x_0 + Z_0 u_0 + \cdots + Z_{k-1} u_{k-1})$$

and x_k realizes the minimum of $\|x - x_0 - Z_0 u_0 - \cdots - Z_{k-1} u_{k-1}\|_A^2$ when $(u_0, \ldots, u_{k-1}) \in (\mathbb{R}^\nu)^k$. So $x_k - x_0 = Z_0\Lambda_0 + \cdots + Z_{k-1}\Lambda_{k-1}$ is the orthogonal projection of $x - x_0$ on the subspace $E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} \text{Im } Z_i$, that is the subspace spanned by the columns of the matrices $Z_0, Z_1, \ldots, Z_{k-1}$, for the scalar product ϕ defined on $\mathbb{R}^n$ by $\phi(u, v) = (u, Av)$.

So, we can also characterize x_k by the conditions $x_k - x_0 \in E_{k-1}$ and $x - x_k$ is orthogonal to E_{k-1} for the scalar productϕ, or by the conditions $x_k - x_0 \in E_{k-1}$ and $Ax - Ax_k = r_k \perp E_{k-1}$ for the Euclidean scalar product in $\mathbb{R}^n$. So, we have proved the

Property 7
The vector x_k is completely defined by the two conditions (called the Lanczos conditions)

1. $x_k - x_0 \in E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} Im\ Z_i$
2. $r_k \perp E_{k-1}$.

Property 8
$E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} Im\ Z_i$ *is a subspace of dimension $k\nu$. We have* $E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} Im\ (A^i R_0)$.

Proof.
Thanks to the A–conjugacy property, the subspaces Im Z_i are two by two orthogonal for the scalar product ϕ, and their dimension is equal to ν, so E_{k-1} has dimension $k\nu$.

Let us prove by induction on k that $E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} \text{Im } (A^i R_0)$.

For $k = 1$, the result is obvious because $Z_0 = R_0$. Let us assume that it is true for the index k.

For $i = 1, \ldots, k$, $R_i - R_{i-1} = AZ_{i-1}L_{i-1}$ and since Im $(Z_{i-1}L_{i-1}) \subset$ Im $Z_{i-1} \subset E_{k-1}$, we have

$$\text{Im } (R_i - R_{i-1}) \subset AE_{k-1} \subset \sum_{i=0}^{k-1} \text{Im } (A^{i+1} R_0).$$

Thanks to the relation

$$R_k = R_0 + \sum_{i=1}^{k} (R_i - R_{i-1})$$

we obtain

$$\text{Im } R_k \subset \text{Im } R_0 + \sum_{i=0}^{k-1} \text{Im } (A^{i+1} R_0) = \sum_{i=0}^{k} \text{Im } (A^i R_0).$$

By (6), $Z_k = R_k + Z_{k-1}B_k$ with Im $(Z_{k-1}B_k) \subset$ Im $(Z_{k-1}) \subset E_{k-1}$, by the induction hypothesis. We have Im $Z_k \subset$ Im $R_k + E_{k-1}$ and then

$$\text{Im } Z_k \subset \sum_{i=0}^{k} \text{Im } A^i R_0$$

and, as $E_k = E_{k-1} +$ Im Z_k, we finally obtain

$$E_k \subset \sum_{i=0}^{k} \text{Im } (A^i R_0).$$

Since A is non singular, the dimension of Im $(A^i R_0)$ is equal to the dimension of Im $R_0 = \nu$, and we obtain

$$\text{dim } \sum_{i=0}^{k} \text{Im } (A^i R_0) \leq k\nu = \text{ dim } \ E_k.$$

It follows that the subspaces are equal. ■

We will now prove that, when ν divides n, the algorithm has a finite termination unless a breakdown occurs.

Corollary 4
Let us assume that $n = k\nu$. If, $\forall i \leq k-2$, Z_i has rank ν, and $x_i \neq 0$, we can construct k full rank matrices $Z_0, Z_1, \ldots, Z_{k-1}$ and we get $x_k = x$.

Proof.
Since the dimension of E_{k-1} is $k\nu$, we have $E_{k-1} = \mathbb{R}^n$ and since r_k is orthogonal to $\mathbb{R}^n$, $r_k = 0$ and $x_k = x$. ■

In the case where ν does not divide n (that is, $\exists k$ such that $k\nu < n < (k+1)\nu$), it is possible to find a symmetric positive definite matrix and a vector x such that full rank matrices $Z_0, Z_1, \ldots, Z_{k-1}$ can be constructed and $x_k \neq x$. In other cases, the solution is obtained while, in some others, a breakdown arises. Let us illustrate these situations by small examples in order to perform the computations exactly.

We consider the 3×3 matrix

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

We take $\nu = 2$ (so $k = 1$), $x_0 = (0,0,0)^T$ and

$$R_0 = Z_0 = \begin{pmatrix} r_0^1 & 0 \\ r_0^2 & 0 \\ 0 & r_0^3 \end{pmatrix}.$$

If $b = (-1,0,1)^T$, the solution is $x = (-1,0,1)^T$ and

$$R_0 = Z_0 = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

This matrix has rank 2, and we get $Z_0^T A Z_0 = L_0 = I$ and $x_1 = x$.
If $b = (-3,4,0)^T$, the solution is $x = (-2,1,1)^T$. We have $r_0^3 = 0$ and

$$R_0 = \begin{pmatrix} -3 & 0 \\ 4 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Z_0^T A Z_0 = \begin{pmatrix} 81 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

So, as mentioned above, the matrix $Z_0^T A Z_0$ is singular, x_1 cannot be computed and the algorithm has to be stopped.
If $b = (1,-3,1)^T$, the solution is $x = (0,-1,0)^T$. The matrix

$$R_0 = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 3 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

has rank 2 and we get

$$x_1 = \frac{1}{25}\begin{pmatrix} 7 \\ -21 \\ 4 \end{pmatrix}, \quad r_1 = \frac{1}{25}\begin{pmatrix} -3 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Let us take now

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

We take $\nu = 2$ (so $k = 2$), $x_0 = (0, 0, 0, 0, 0)^T$ and

$$R_0 = Z_0 = \begin{pmatrix} r_0^1 & 0 \\ r_0^2 & 0 \\ 0 & r_0^3 \\ 0 & r_0^4 \\ 0 & r_0^5 \end{pmatrix}.$$

For $b = (-1, 1, 1, -1, 0)^T$ and $x = (-3, 1, 1, 0, 0)^T$, we obtain $x_2 = x$. The same is true for other right hand sides.

With $b = (2, 2, 4, 2, 1)^T$ and $x = (1, 0, 1, 0, 1)^T$, $x_2 \neq x$ and the matrices Z_2 and R_2 have rank 1 and the algorithm has to be stopped.

If $b = (-2, 0, 0, 1, 0)^T$ and $x = (-5, 1, 1, 1, 0)^T$, the matrices Z_1 and R_1 have rank 1 and a breakdown occurs.

Several other numerical examples were performed but it seems that no general conclusion can be deduced.

3. Convergence analysis

We are going to use the property that $\|u-x\|_A^2 = (u-x, A(u-x))$ is minimum for $u = x_k$ when

$$u - x_0 \in E_{k-1} = \sum_{i=0}^{k-1} \text{Im}\,(A^i R_0).$$

Lemma 1
Let $C_1, C_2, \ldots, C_\nu$ be the columns of the matrix R_0. Then v is a vector of the subspace E_{k-1} if and only if there exist polynomials $P_1, P_2, \ldots, P_\nu$ of degree less or equal to $k-1$ such that

$$v = P_1(A)C_1 + \cdots + P_\nu(A)C_\nu.$$

Proof.
Let v be a vector of E_{k-1}. It is a linear combination of the vectors

$$C_1, \ldots, C_\nu, AC_1, \ldots, AC_\nu, \ldots, A^{k-1}C_1, \ldots, A^{k-1}C_\nu.$$

We can find real numbers $a_{i,j}$ such that

$$v = \sum_{i=0}^{k-1} a_{1,i}A^iC_1 + \sum_{i=0}^{k-1} a_{2,i}A^iC_2 + \cdots + \sum_{i=0}^{k-1} a_{\nu,i}A^iC_\nu.$$

Thus, we can find polynomials $P_1, P_2, \ldots, P_\nu$ of degree less or equal to $k-1$ such that

$$v = P_1(A)C_1 + \cdots + P_\nu(A)C_\nu.$$

Conversely, such a vector v is a linear combination of the columns of the matrices $R_0, \ldots, A^{k-1}R_0$and, thus, it is a vector of the subspace E_{k-1}. ■

In this Section, let V_k be the set of polynomials P of degree less or equal to k and satisfying $P(0) = 1$. We have the

Property 9
Let $C_1, C_2, \ldots, C_\nu$ be the columns of R_0 and let us set, for any $v \in \mathbb{R}^n$,

$$\|v\|_A^2 = (v, Av) \quad \textit{and} \quad \|v\|_{A^{-1}} = (v, A^{-1}v).$$

If, for $i = 1, 2, \ldots, \nu$, Q_i belongs to V_k, then

$$\|x - x_k\|_A \leq \|Q_1(A)C_1\|_{A^{-1}} + \cdots + \|Q_\nu(A)C_\nu\|_{A^{-1}}.$$

Proof.
We write $x - u = (x - x_0) + (x_0 - u)$ with $x_0 - u \in E_{k-1}$. By Lemma 1, we have

$$x_0 - u = P_1(A)C_1 + \cdots + P_\nu(A)C_\nu$$

where P_i is a polynomial of degree less or equal to $k-1$. It follows that

$$\begin{aligned} A(x-u) &= A(x-x_0) + A(x_0-u) \\ &= r_0 + AP_1(A)C_1 + \cdots + AP_\nu(A)C_\nu \end{aligned}$$

Since $R_0e = r_0$, we have $C_1 + C_2 + \cdots + C_\nu = r_0$, and we obtain

$$A(x-u) = Q_1(A)C_1 + \cdots + Q_\nu(A)C_\nu$$

where $Q_i(\xi) = 1 + \xi P_i(\xi)$ is a polynomial of degree less or equal to k such that $Q_i(0) = 1$.

Since $\|x - x_k\|_A^2$ is the minimum of

$$\begin{aligned} \|u - x\|_A^2 &= (u - x, A(u - x)) \\ &= \big(A^{-1}(A(u - x)), A(u - x)\big) \\ &= \|A(u - x)\|_{A^{-1}}^2 \end{aligned}$$

when $x_0 - u$ belongs to E_{k-1}, it follows that

$$\|x - x_k\|_A \leq \|Q_1(A)C_1 + \cdots + Q_\nu(A)C_\nu\|_{A^{-1}}$$

where, for $i = 1, \ldots, k$, $Q_i \in V_k$. ■

Property 10
Let $C_1, C_2, \ldots, C_\nu$ be the columns of R_0, and $\lambda_1, \ldots, \lambda_n$ the eigenvalues of A with $\lambda_1 \leq \cdots \leq \lambda_n$. For every polynomial Q of degree less or equal to k such as $Q(0) = 1$, we have

$$\|x - x_k\|_A \leq \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} \max_{i=1,\ldots,n} \|Q(\lambda_i)\| \cdot \sum_{i=0}^{\nu} \|C_i\|.$$

Proof.
Thanks to Property 9, we can write

$$\|x - x_k\|_A \leq \|Q(A)C_1\|_{A^{-1}} + \cdots + \|Q(A)C_\nu\|_{A^{-1}}.$$

Since

$$\begin{aligned} \|Q(A)C_i\|_{A^{-1}}^2 = (Q(A)C_i, A^{-1}Q(A)C_i) &\leq \|Q(A)C_i\| \, \|A^{-1}Q(A)C_i\| \\ &\leq \|Q(A)C_i\|^2 \, \|A^{-1}\| \\ &\leq \|Q(A)\|^2 \, \|C_i\|^2 \, \|A^{-1}\|, \end{aligned}$$

then $\|Q(A)C_i\| \leq \|Q(A)\|\|C_i\|\sqrt{\|A^{-1}\|}$. The matrix A is symmetric positive definite. Its eigenvalues verify $0 < \lambda_1 \leq \cdots \leq \lambda_n$. The matrix $Q(A)$ is also symmetric with eigenvalues $Q(\lambda_i)$, and $\|Q(A)\|$ is equal to the largest real number among $|Q(\lambda_j)|$. Moreover, $\|A^{-1}\| = 1/\lambda_1$, and

$$\|Q(A)\| \, \|C_i\| \leq \max_{j=1,\ldots,n} \|Q(\lambda_j)\| \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} \|C_i\|. \blacksquare$$

Remark 2
Since $r_0 = C_1 + \cdots + C_\nu$ and each nonzero component of r_0 belongs to only one column, we can use the identity $\|r_0\|^2 = \sum_{i=1}^{\nu} \|C_i\|^2$ for obtaining the inequality $\sum_{i=1}^{\nu} \|C_i\| \leq \nu \|r_0\|$.

Property 11
Let $C_1, C_2, \ldots, C_\nu$ be the columns of R_0, m the smallest eigenvalue of A, M its greatest eigenvalue, and $\kappa = M/m$ the spectral condition number of A. Then

$$\|x - x_k\|_A \leq \frac{2}{\sqrt{m}} \sum_{i=1}^{\nu} \|C_i\| \left(\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} + 1} \right)^k. \tag{9}$$

Proof.
Let T_k be the Chebyshev polynomial of degree k.
Since $M > 0$, $(-M - m)/(M - m) < -1$, and it cannot be a zero of T_k. So, we can define the polynomial

$$Q_k(t) = T_k \left(\frac{2t - M - m}{M - m} \right) \Big/ T_k \left(\frac{-M - m}{M - m} \right).$$

It is a polynomial of degree k satisfying $Q_k(0) = 1$. When t belongs to $[m, M]$, $(2t - M - m)/(M - m)$ belongs to $[-1, 1]$. So $\left| T_k \left(\frac{2t-M-m}{M-m} \right) \right| \leq 1$.
It is well known that, if $|x| > 1$, $T_k(x) = \frac{1}{2}(y^k + y^{-k})$ with $y = x + \sqrt{x^2 - 1}$.
Let us set

$$u = \frac{-M - m}{M - m} = \frac{-\kappa - 1}{\kappa - 1}.$$

Then

$$u^2 - 1 = \frac{4\kappa}{(\kappa - 1)^2} \quad \text{and} \quad v = u + \sqrt{u^2 - 1} = -\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} - 1}.$$

So

$$T_k(u) = \frac{1}{2}(v^k + v^{-k}) = \frac{1}{2}(-1)^k \left[\left(\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} + 1} \right)^k + \left(\frac{\sqrt{\kappa} + 1}{\sqrt{\kappa} - 1} \right)^k \right].$$

Then

$$|T_k(u)| \geq \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{\kappa} + 1}{\sqrt{\kappa} - 1} \right)^k.$$

Thanks to Property 10, if we set $Q = Q_k$, since, for $i = 1, \ldots, n$, $\lambda_i \in [m, M]$, we obtain the inequality of the property. ■

Remark 3
Since $(\sqrt{\kappa} - 1)/(\sqrt{\kappa} + 1)$ belongs to $[0, 1[$, then $\lim_{k \mapsto +\infty} \|x - x_k\|_A = 0$.

Let us now compare the MPCG algorithm to the conjugate gradient algorithm.
In the case of the CG algorithm, we have

$$\|x - x_k\|_A \leq 2 \left(\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} + 1} \right)^k \|x - x_0\|_A. \tag{10}$$

When $\nu = 1$, $R_0 = r_0$ and Property 11 gives

$$\|x - x_k\|_A \leq \frac{2}{\sqrt{m}} \left(\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} + 1} \right)^k \|r_0\|. \tag{11}$$

Since $\|x - x_0\|_A^2 = (x - x_0, A(x - x_0)) = (A^{-1} r_0, r_0)$, we have

$$\|x - x_0\|_A^2 \leq \|A^{-1} r_0\| \, \|r_0\| \leq \|A^{-1}\| \, \|r_0\|^2 \leq \frac{1}{m} \|r_0\|^2.$$

So, we have from (10)

$$\|x - x_k\|_A \leq \frac{2}{\sqrt{m}} \left(\frac{\sqrt{\kappa} - 1}{\sqrt{\kappa} + 1} \right)^k \|r_0\|$$

which is exactly (11).

REFERENCES

[1] C. Brezinski, *Padé–Type Approximation and General Orthogonal Polynomials*, Birkhäuser–Verlag, Basel, 1980.

[2] C. Brezinski, *Projection Methods for Systems of Equations*, North–Holland, Amsterdam, 1997.

[3] C. Brezinski, Multiparameter descent methods, Linear Algebra Appl., 296 (1999) 113–141.

[4] C. Brezinski, J.P. Chehab, Multiparameter iterative schemes for the solution of systems of linear and nonlinear equations, SIAM J. Sci. Comput., 20 (1999) 2140–2159.

[5] C. Brezinski, M. Redivo–Zaglia, H. Sadok, The matrix and polynomial approaches to Lanczos–type algorithms, J. Comput. Appl. Math., 123 (2000) 241–260.

[6] C. Brezinski, M. Redivo–Zaglia, H. Sadok, A review of formal orthogonality in Lanczos–based methods, J. Comput. Appl. Math., 140 (2002) 81–98.

[7] C. Brezinski, H. Sadok, Lanczos–type algorithms for solving systems of linear equations, Appl. Numer. Math., 11 (1993) 443–473.

[8] R. Fletcher, Conjugate gradient methods for indefinite systems, in *Numerical Analysis, Dundee 1975*, G.A. Watson ed., LNM vol. 506, Springer–Verlag, Berlin, 1976, pp.73–89.

[9] G. Meurant, *Computer Solution of Large Linear Systems*, North–Holland, Amsterdam, 1999.

[10] M.R. Hestenes, E. Stiefel, Methods of conjugate gradients for solving linear systems, J. Res. Natl. Bur. Stand., 49 (1952) 409–436.

[11] C. Lanczos, Solution of systems of linear equations by minimized iterations, J. Res. Natl. Bur. Stand., 49 (1952) 33–53.

[12] D.P. O'Leary, The block conjugate gradient algorithm and related methods, Linear Algebra Appl., 29 (1980) 293–322.

[13] Y. Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, PWS Publ. Co., Boston, 1996.

Collection Mathématiques et applications aux éditions Springer-Verlag
Drs : M. Benaïm, J.-M. Thomas (collection de la SMAI)

Vol. 12 P. Dehornoy, *Complexité et décidabilité* — 200 pp., 38,95 €- tarif SMAI : 31,16 €
Vol. 13 O. Kavian,*Introduction à la théorie des points critiques et applications aux problèmes elliptiques*
323 pp., 51,95 €- tarif SMAI : 41,56 €
Vol. 14 A. Bossavit, *Électromagnétisme en vue de la modélisation* — 174 pp., 35,95 €- tarif SMAI : 28,76 €
Vol. 15 R. Zeytounian, *Modélisation asymptotique en mécanique des fluides newtoniens*
225 pp., 43,95 €- tarif SMAI : 35,16 €
Vol. 16 D. Bouche et F. Molinet, *Méthodes asymptotiques en électromagnétisme*
416 pp., 71,95 €- tarif SMAI : 57,56 €
Vol. 17 G. Barles, *Solutions de viscosité des équations de Hamilton-Jacobi*
194 pp., 30,95 €- tarif SMAI : 24,76 €
Vol. 18 Q.S. Nguyen, *Stabilité des structures élastiques* — 148 pp., 29,95 €- tarif SMAI : 23,96 €
Vol. 19 F. Robert, *Les systèmes dynamiques discrets* — 296 pp., 53,95 €- tarif SMAI : 43,16 €
Vol. 20 O. Papini et J. Wolfmann, *Algèbres discrètes et codes correcteurs*
259 pp., 48,95 €- tarif SMAI : 39,16 €
Vol. 21 D. Collombier, *Plans d'expérience factoriels* — 194 pp., 35,95 €- tarif SMAI : 28,76 €
Vol. 22 G. Gagneux, M. Madaune-Tort, *Analyse math. de modèles non linéaires de l'ingénierie pétrolière*
187 pp., 35,95 €- tarif SMAI : 31,96 €
Vol. 23 M. Duflo, *Algorithmes stochastiques*— 319 pp., 59,95 €- tarif SMAI : 47,96 €
Vol. 24 P. Destuynder et M. Salaun, *Mathematical analysis of thin plate models*
236 pp., 42,15 €- tarif SMAI :33,72 €
Vol. 25 P. Rougée, *Mécanique des grandes transformations* — 412 pp., 74,95 €- tarif SMAI : 59,96 €
Vol. 26 L. Hörmander, *Lectures on nonlinear hyperbolic differential equations*
289 pp., 31,60 €- tarif SMAI : 25,28 €
Vol. 28 C. Cocozza-Thivent, *Processus stochastiques et fiabilité des systèmes*
436 pp., 79,95 €-tarif SMAI : 63,96 €
Vol. 29 B. Lapeyre, E. Pardoux et R. Sentis,
Méthodes de Monte-Carlo pour les équations de transport et de diffusion
178 pp., 32,95 €- tarif SMAI : 26,36 €
Vol. 30 P. Sagaut, *Introduction à la simulation des grandes échelles pour les écoulements*
des fluides incompressibles — 282 pp., 53,95 €- tarif SMAI : 43,16 €
Vol. 31 E. Rio, *Théorie asymptotique des processus aléatoires faiblement dépendants*
170 pp., 34,95 €- tarif SMAI : 27,96 €
Vol. 32 P. Cazes, J. Moreau, P.A. Doudin, *L'analyse des correspondances et les techniques connexes*
265 pp., 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
Vol. 33 B. Chalmond, *Éléments de modélisation pour l'analyse d'images*
331 pp., 63,95 €- tarif SMAI : 51,16 €
Vol. 34 J. Istas, *Introduction aux modélisations mathématiques pour les sciences du vivant*
160 pp., 29,95 €- tarif SMAI : 23,96 €
Vol. 35 P. Robert, *Réseaux et files d'attente : méthodes probabilistes* — 386 pp., 63,95 €- tarif SMAI : 51,16 €
Vol. 36 A. Ern, J.- L. Guermond, *Éléments finis : théorie, applications, mise en œuvre*
430 pp., 74,95 €- tarif SMAI : 59,96 €
Vol. 37 S. Sorin, *A first course on zero-sum repeated games* — 204 pp., 37,93 €- tarif SMAI : 30,34 €
Vol. 38 J.F. Maurras, *Programmation Linéaire, Complexité, Séparation et Optimisation*
221 pp., prix public : 42,95 €- tarif Smai : 34,36 €
Vol. 39 B. Ycart, *Modèles et Algorithmes Markoviens* — 272 pp., prix public : 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
Vol. 40 B. Bonnard, M. Chyba, *Singular Trajectories and their Role in Control Theory*
357 pp., prix public : 68,52 €- tarif SMAI : 54,82 €
Vol. 41 A.B. Tsybakov, *Introduction à l'estimation non- paramétrique*
175 pp., prix public : 34,95 €- tarif SMAI : 27,95 €
Vol. 42 J. Abdeljaoued, H. Lombardi, *Méthodes matricielles - Introduction à la complexité algébrique*
377 pp., prix public : 68,95 €- tarif SMAI : 55,16 €
Vol. 43 U. Boscain, B. Piccoli, *Optimal Syntheses for Control Systems on 2-D Manifolds*
261 pp., prix public :52,70 €- tarif SMAI : 42,16 €
Vol. 44 L. Younes, *Invariance, déformations et reconnaissance de formes*
248 pp., prix public : 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
Vol. 45 C.Bernardi, Y.Maday, F.Rapetti,, *Discrétisations variationnelles de problèmes aux limites elliptiques*
298 pp., prix public : 57,95€ - tarif adhérent Smai : 46,36€
Prix de souscription prolongé jusqu'au 30 septembre 2004 : 40,56€

Le tarif Smai 20% de réduction et la souscription 30% sur le prix public sont réservés aux membres de la Smai.
Pour obtenir l'un de ces volumes, adressez votre commande à **Springer-Verlag, Customer Service Books – Haberstr. 7 - D 69126 Heidelberg/Allemagne** – Tél. 00 800 777 46 437 (n° vert) – Fax 00 49 6221 345 229 – e-mail : `orders@springer.de`
Paiement à la commande exclusivement par chèque à l'ordre de Springer-Verlag ou par carte de crédit (préciser le type de carte, le numéro et la date d'expiration). Prix TTC en France (5,5% TVA incl.). Au prix des livres doit être ajoutée une participation forfaitaire aux frais de port : 5 € (+ 1,50 € par ouvrage supplémentaire).

JEAN KUNTZMANN

par Jean Delladora

I — POURQUOI UN ARTICLE SUR JEAN KUNTZMANN ?

L'Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble vient de fêter ses cinquante ans, son fondateur en a été Jean Kuntzmann.

Lorsque G.-H. Cottet m'a proposé d'écrire un petit article sur Jean Kuntzmann, j'ai plongé dans un monde que je ne connaissais pas. J'y ai compris l'immense respect que mon Maître N. Gastinel portait à cet homme ainsi que la place que doit occuper son œuvre dans les mathématiques appliquées de notre pays.

Un point clef des réflexions de Jean Kuntzmann est que le développement des mathématiques appliquées ne peut être séparé de celui de l'informatique. Cela a été prouvé de nombreuses fois dans notre courte histoire. Citons la jeune histoire du parallélisme, celle du calcul formel et du graphisme, peut-être plus profondément la théorie de la complexité…

L'histoire mélée de ces deux disciplines est très fortement encrée dans la tradition grenobloise, cet article, j'espère, en fera comprendre la génèse.

II — LES ANNÉES DE FORMATION ET LA NAISSANCE DES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES À GRENOBLE

Jean Kuntzmann est né le 1er juin 1912 à Pont à Mousson. Après des études secondaires au lycée d'Épinal (accessit de mathématiques au Concours Général en 1928 puis premier prix de Mathématiques en 1929) il est bachelier de mathématiques en 1929. Il suit les cours de Mathématiques Spéciales au lycée Saint Louis puis est reçu troisième à l'École normale en 1931. Il en sort en 1934 et est reçu premier à l agrégation de mathématiques. Après son service militaire (1934-1935) il effectue un séjour de recherche à Hambourg puis revient à Paris où il devient agrégé préparateur de mathématiques à l'ENS jusqu'en 1939. Il est ensuite mobilisé en 1939–1940, soutient une thèse d'État en algèbre en 1940 et est fait prisonnier de guerre jusqu'en 1945.

Restons un instant sur la thèse de Jean Kuntzmann. Le titre en est « Contribution à l'étude des systèmes multiformes ». Le président du jury était G. Julia et les deux examinateurs en étaient A. Denjoy et G. Valiron. La thèse semble reposer sur des travaux de M. Marty. Il est savoureux de citer l'auteur : *On peut chercher à analyser à son tour une notion abstraite comme celle de groupe : voir comment les diverses propriétés qu'on lui connaît résistent à une généralisation convenable ? Comment elles reprennent peu à peu leur forme habituelle par l'adjonction de*

nouvelles restrictions ? Telles sont les questions qui, en dehors de toute application, justifieraient déjà ces recherches. Le texte est caractéristique d'une généralisation contre laquelle Jean Kuntzmann s'élèvera plus tard...

Jean Kuntzmann est nommé maître de conférences par ordre en 1942 auprès de l'université de Grenoble. Il sera confirmé dans ce poste en 1945 et rejoint, à la libération, cette Université où va se dérouler toute sa carrière.

La Faculté de sciences comptait alors 38 enseignants dont 3 mathématiciens (1 professeur et deux maîtres de conférences) qui délivraient cinq certificats de mathématiques (math-géné, mathématiques, physique et chimie (MPC), calcul dfférentiel et mécanique rationnelle, analyse supérieure). Quatre bureaux étaient partagés par les professeurs de mathématique et mécanique : M. Brelot, M. Dorgeval, M. Kravtchenko (mécanique) et Jean Kuntzmann.

À coté de l'université se trouvait l'Institut polytechnique (IPG) qui comportait une école d'électrotechnique et une d'hydraulique.

Il est intéressant de citer Jean Kuntzmann pour situer son état d'esprit à cette époque : *reprenant la vie civile après cinq années de guerre et de captivité, il ne me semblait pas évident que je devrais reprendre mes activités mathématiques là où je les avais laissées, c'est-à-dire dans une algèbre hyper-désincarnée. J'étais donc assez réceptif à des appels extérieurs. Or, le directeur de l'IPG, M. Esclangon, désirait développer dans cette école l'enseignement mathématique*.

Dès l'année scolaire 1945–1946 Jean Kuntzmann donna donc un cours de mathématiques pour radio-électriciens. Outre cette activité d'enseignement, Jean Kuntzmann, toujours sous l'impulsion de M. Esclangon, eut à s'occuper de contacts avec des ingénieurs. De ces contacts naquirent les premières publications (1947) dans le futur domaine de l'analyse numérique.

Il est intéressant de remarquer que les deux écoles de l'IPG forment à cette époque des ingénieurs pour ce qui constitue les forces vives industrielles de Grenoble : l'électricité et l'hydraulique sont naturellement associées à la Houille Blanche. Ce sont les technologies de pointe de l'époque.

Le développement des mathématiques appliquées à Grenoble va bénéficier du développement national de l'enseignement supérieur. Il va aussi se situer à l'intersection de deux philosophies : celle de l'IPG et celle de la Faculté des Sciences. L'IPG sous la direction de M. Esclangon, puis du futur prix Nobel Louis Neel développe de nouveaux domaines : Radio-électricité, Génie Atomique, Électronique, Automatique. En 1957–1958 une section spéciale mathématiques appliquées est ainsi créée sous la direction de Jean Kuntzmann et dès 1960–1961 la section normale (future ENSIMAG) est créée. L'ENSIMAG est donc un des enfants de Jean Kuntzmann.

Naturellement les choses n'étaient pas aussi simples avec la Faculté de sciences et l'histoire locale a retenu un certain nombre d'anecdotes à propos des relations entre Jean Kuntzmann et les mathématiciens purs de l'époque...

1. Premiers pas en mathématiques appliquées

Jean Kuntzmann occupait un bureau et toute croissance était diffcile dans le cadre des locaux de la Faculté des sciences. L'IPG offrit en 1952 une grande salle (mal chauffée…) et un petit bureau, cela était nécessaire car arriva à Grenoble la première machine *analogique de la société d'Électronique et d'Automatismes : SEA* ainsi qu'un certain nombre de machines de bureau (Jean Kuntzmann signale que la première de ces machines était un butin de guerre récupéré en Allemagne…), de planimètres et de tables numériques.

Le CNRS soutint, d'une certaine façon, l'activité du service. Il est savoureux de citer ici Jean Kuntzmann :

La structure du CNRS était alors la suivante dans le domaine qui nous intéresse :

- *Section 1 : mathématiques ;*
- *Section 2 : théorie physique, probabilités, applications ;*
- *Section 3 : mécanique générale et mathématiques appliquées.*

Me croyant mathématicien, je m'étais adressé sans succès à la section 1. Puis, monsieur PERES, doyen de la Sorbonne et président de la section 3, s'intéressa à nous et nous invita à nous rattacher à sa section.

Jean Kuntzmann commence à s'entourer de collaborateurs : M. Laborde, professeur de l'enseignement technique, détaché à l'IPG, arrivera en 1948 (Les tables de Laborde sont un souvenir pour plusieurs générations…). M. Reeb fera un court passage comme maître de conférences avant de rejoindre Strasbourg, M. Blambert, chef de travaux rejoindra lui l'équipe de Maths Pures.

Que sont les enseignements : toujours celui pour la section Hautes Fréquences, mais aussi un premier enseignement de mathématiques pour Ingénieurs (analyse appliquée) qui est donné en première année de l'IPG (1948–1949), il deviendra certificat de licence en 1949–1950 et se nommera Méthodes Mathématiques de la Physique en 1952. Les premiers travaux pratiques sont alors développés (sur machines mécaniques de bureau…). Il y aura jusqu'à 800 inscrits par an.

Remarquons bien que cet enseignement (MMP) est donné, par un mathématicien, à tous les élèves ingénieurs de l'IPG. Cela assurait une homogénéité de formation de base et l'assurance que cet enseignement bénéficierait ainsi des retombées directes de la recherche. Jamais Jean Kuntzmann n'a enseigné des mathématiques « sectorielles ».

Jean Kuntzmann donne aussi naissance au Laboratoire de Calcul qui avait un statut de laboratoire d'essai de l'IPG. Organisme autonome réalisant des travaux avec l'extérieur (EDF, Service Technique Aéronautique, Merlin-Gerin, Neyrpic, SEA, CNET, …)

III — LE DÉVELOPPEMENT DES MATHÉMATIQUES NUMÉRIQUES

Avec beaucoup de ténacité, Jean Kuntzmann développe le service : de nouveaux locaux (sous les combles… de l'IPG), de nouveaux matériels. Citons encore Jean Kuntzmann :

Vers 1955, on commence à parler en France de machines à calculer électroniques digitales plus évoluées que nos machines de bureau et notre machine analogique. La Normacem à Lyon est équipée d'un Gamma 3 à programme par cartes (PPC) : programme sur tableau de connexions et paquets de cartes perforées, 7 mémoires électroniques de 6 octets. Un ingénieur, M. Sollaud vient en 1956 faire des cours de programmation à un petit auditoire (monsieur Laborde, monsieur Bolliet, moi-même et monsieur Rohrbach). Nous allons à Lyon faire les travaux pratiques. Un peu plus tard, Neyrpic à Grenoble se dote d'un IBM 650 sur lequel nous allons aussi travailler. Il faudra peu de temps pour que nous demandions au Ministère de nous acheter une machine. Notre choix se porte sur le Gamma E.T. (extension tambour) de la maison BULL. C'est un ordinateur avec une mémoire centrale (RAM) de 64 mots de 6 octets, une mémoire ROM de 64 mots de 2 octets (tableau de connexion) et une mémoire de masse de 8192 mots de 6 octets. Il sera installé en 1957 et inauguré en 1958.

Lors de son inauguration par le Directeur des enseignements supérieurs, cette machine produisit une table des valeurs de $\sin x$ et… le graphique correspondant ainsi qu'une poésie composée par Jean Kuntzmann.

Enfin en 1958, une chaire de Mathématiques Appliquées est créée pour Jean Kuntzmann. C'est la reconnaissance des mathématiques appliquées comme discipline autonome. Ne résistons surtout pas au plaisir de citer Jean Kuntzmann :

Il faut que je rapporte ici un événement amusant. Ma nomination originale mentionnait l'Université de… Limoges. Un erratum qui est le seul document qui m'ait été remis, précise qu'il s'agit d'une erreur et qu'il faut lire Grenoble au lieu de Limoges. Était-ce une manière de me montrer qu'on aurait bien aimé me limoger ?

Jean Kuntzmann crée en 1957 l'enseignement d'analyse numérique et, en 1960, le troisième cycle de mathématiques appliquées. Sur le plan national, il est à l'origine de la création de l'Association Française de Calcul (AFCAL qui deviendra AFCET) et de sa revue `CHIFFRES`. Le premier congrès de spécialistes du calcul est organisé. Jean Kuntzmann sera le premier mathématicien appliqué à faire partie des commissions du CNRS. Le service s'étoffe avec l'arrivée de nouveaux enseignants : en Octobre 1957, M. Gastinel, alors professeur de classes préparatoires à Toulon est nommé chef de travaux. Puis M. Vauquois est nommé en 1958. Nous ne retiendrons pour la suite que quelques noms : en 1959, M. Benzaken (math discrètes), en 1961, M. Hacques (analyse numérique), M. Guillerault assistant et M. P.-J. Laurent maître assistant. D'autres personnels complètent le laboratoire. Cette période est marquée par de grandes modifications dans la structure de l'enseignement qui se traduisent par la création de nouveaux cours et de nouvelles filières.

1. Les travaux de Jean Kuntzmann dans le domaine de l'analyse numérique

Ces travaux se sont déroulés entre 1946 et 1963. Cet exposé est basé sur une remarquable analyse faite par M. N. Gastinel des travaux de Jean Kuntzmann. Nous donnons un résumé de cette étude. Quatre domaines ont été étudiés par Jean Kuntzmann :

– les méthodes de calcul des racines d'équations ;
– la théorie de l'approximation et du lissage ;
– l'intégration des équations différentielles ordinaires ;
– la théorie des erreurs de calcul.

Les premiers travaux portent sur la résolution de $f(x) = 0$ pour une fonction f de classe C^2 sur un intervalle $[a, b]$ dont la dérivée première garde un signe constant sur cet intervalle. Il s'attache à l'évaluation de l'erreur. Dès cette époque (1949), Jean Kuntzmann semble aussi s'intéresser au problème du choix du meilleur pivot dans la méthode de Gauss.

À cette époque, la théorie de l'approximation est aussi un de ses sujets de recherche. En particulier, il se pose le problème du choix optimal de certains nœuds dans des formules d'intégration numérique. Il utilise alors une classe de fonctions qui sont devenues depuis des *fonctions splines*. En 1959–1960, il rédige le cours d'analyse appliquée ainsi qu'un manuel de travaux pratiques de calcul avec J. Laborde. De nombreuses publications dans des revues d'ingénieurs attestent de son travail dans un contexte très applicatif. Il publiera en 1959 le premier ouvrage français d'analyse numérique moderne chez Dunod : *Méthodes numériques : Interpolation-Dérivées*. Ce manuel, outre de nombreuses contributions originales, met en évidence l'attention portée par Jean Kuntzmann au coût des algorithmes et aux considérations pratiques. On notera un dernier chapitre portant sur l'interpolation par des familles non linéaires, fractions rationnelles et sommes d'exponentielles. Les fractions continues le conduisant à un exposé élégant de l'algorithme du QD de Rutishaüser. La dernière partie du travail de Jean Kuntzmann dans le domaine de l'analyse numérique est consacrée à l'analyse numérique des équations différentielles ordinaires. C'est un travail considérable et qui reste toujours d'actualité. Il dirigera de nombreuses thèses sur ce sujet et résumera ses travaux dans l'ouvrage *Problèmes différentiels de conditions initiales* paru en 1963 chez Dunod avec comme co-auteur F. Ceschino. On y trouve les définitions et théorèmes de base, puis, en un premier chapitre, l'exposé des méthodes à pas séparés et de la méthode de Taylor plus indiquée pour le calcul formel. Suivent les méthodes de Runge-Kutta. Une grande originalité de Jean Kuntzmann est de comprendre que l'établissement des diverses formules de Runge-Kutta relève du calcul formel, il fera établir ces programmes par Y. Siret et J. Martinet (ce travail très original fait appel au bon cadre mathématique : celui de la Théorie des Jets de C. Ehresmann). Les méthodes de RK implicites sont étudiées ainsi que des méthodes utilisant des dérivées d'ordre supérieur. La deuxième partie de l'ouvrage est relative aux méthodes à pas liés. La

nécessité d'introduire des accélérateurs de convergence (Aïtken) est recommandée. La notion de stabilité est traitée. La troisième partie est consacrée à des considérations théoriques. Ce travail, toujours cité actuellement, contient de nombreuses idées très originales et résume aussi certaines contributions obtenues par les nombreux élèves de Jean Kuntzmann. C'est le résumé de dix ans de travail.

Après ce travail, Jean Kuntzmann allait tourner la page de l'analyse numérique et consacrer ses efforts aux mathématiques de et pour l'informatique. Sa succession était dans les mains de N. Gastinel et P.-J. Laurent.

2. Le campus de Saint-Martin-d'Hères

En 1960, la mode était au campus à l'américaine…, sous l'action du Doyen Weil (physicien), les premiers locaux du futur domaine universitaire de Saint-Martin-d'Hères sont créés en 1963 pour les mathématiques appliquées. Pour illustrer l'atmosphère de cette époque citons encore Jean Kuntzmann :

La première pierre de notre bâtiment (qui n'en comporte d'ailleurs aucune) a été posée solennellement par les autorités locales et ministérielles, mais pas sur le lieu où devraient être les bâtiments (il y avait trop de boue pour que l'on puisse y amener un cortège officiel). De plus, on m'avait fait comprendre que ma présence à cette cérémonie était « inutile » si bien que je ne peux pas dire où se trouve cette première pierre. Jean Kuntzmann ne manquait pas de caractère !

IV — Les autres contributions de Jean Kuntzmann

1. Les mathématiques de l'informatique, l'algèbre peu réversible

De nouvelles machines arrivent, soulignant la place grandissante de l'Informatique, et laissant entrevoir l'émergence de l'IMAG (qui marque le passage Ingénieur en Mathématiques Appliquées à Informatique et Mathématiques Appliquées à Grenoble). L'IBM 360/67 est le symbole de cette évolution. D'ailleurs le mot **informatique** est créé en 1964 par M. Philippe Dreyfus de la compagnie BULL. Le mot **ordinateur** a été créé par J. Perret de la Faculté des Lettres de Paris suite à un concours lancé par IBM en 1954 (mot du vocabulaire théologique, inusité depuis six siècles – Dieu était le grand ordinateur du monde – Il est clair que ce mot a été bien choisi…)

Plusieurs publications enrichissent la bibliographie de Jean Kuntzmann
- en 1965, *Algèbre de Boole* chez Dunod ;
- en 1967, *Outils Mathématiques* chez Hermann ainsi que *Séries et variables complexes, systèmes différentiels* ;
- en 1968, *Où vont les Mathématiques* chez Hermann et une nouvelle édition de l'*algèbre de Boole* ;

– en 1972, *Théorie des graphes et des réseaux.*

Pour conclure ce paragraphe, citons, parmi les évolutions la mise en place, sous la direction de N. Gastinel, du Centre de Calcul qui devient indépendant de l'IMAG.

N. Gastinel prend aussi la succession de Jean Kuntzmann dans le domaine de l'analyse numérique.

Jean Kuntzmann se tourne vers les mathématiques du matériel informatique et crée l'enseignement d'algèbre de Boole. Il participe à de nombreuses commissions nationales.

Son apport dans le domaine des logiciels pour le calcul numérique est particulièrement important : il propose la création de bibliothèques de fonctions élémentaires, il contribue à la rédaction de brochures d'enseignement, travaille sur la méthodologie de programmation en langage machine, il suggère l'étude d'un système de simulation d une machine digitale sur une autre.

De 1960 à 1961, il constitue la première équipe de recherche en programmation. Il démarre une série de travaux sur les langages évolués : ALGOL, FORTRAN, COBOL et sur les compilateurs. De nombreuses thèses sont soutenues. Le nom de L. Bolliet reste profondément attaché à ce domaine.

D'autres domaines de recherche sont explorés : temps partagé, systèmes conversationnels, traitement graphique, grands systèmes (IBM 7044), petits systèmes (PDP 8). En 1970, Jean Kuntzmann changera de sujet.

Il avait bien sûr compris l'importance fondamentale du matériel et a fait travailler en thèse plusieurs élèves dans le domaine de la conception des composants, l'implantation des circuits imprimés puis intégrés. Il a toujours travaillé à une collaboration avec le laboratoire voisin d'Automatique.

Il me semble que cette partie du travail de J Kuntzmann le rapproche de son travail de thèse. Ses nombreux cours sur les graphes, les algèbres peu réversibles sont, d'une certaine façon, assez abstraits. En tout cas, ils sont profondément originaux.

2. L'informatique de gestion, la conception assistée par ordinateur, la traduction automatique

Dans toutes ces directions, la stratégie de Jean Kuntzmann fût de reconnaître l'importance du domaine, de trouver de bons chercheurs, de créer le cadre de recherche et d'enseignement adéquat, puis de faire confiance. La traduction automatique sous la direction de B. Vauquois, l'informatique de gestion sous la direction de C. Delobel et F. Peccoud, la conception assistée et l'architecture des ordinateurs sous la responsabilité de J. Mermet, F. Anceau et G. Saucier se sont développées vigoureusement.

3. La pédagogie

Citons encore Jean Kuntzmann :

Il serait vain de vouloir faire une recherche portant sur l'école élémentaire sans la participation d'instituteurs, sur le second degré sans la participation de professeurs du second degré. Mais pratiquement on devrait trouver des membres de l'enseignement supérieur dans toutes ces recherches. Ceux-ci donneront à la recherche en didactique le style habituel d'une recherche, ils en utiliseront les résultats soit dans un autre ordre d'enseignement, soit au niveau de la formation des maîtres.

Avant 1968, Jean Kuntzmann avait compris que se posait à notre société le problème du fonctionnement du système éducatif dans son ensemble. Fidèle à sa philosophie, il allait porter son énergie et son expérience sur ce problème. Comme toujours chez Jean Kuntzmann, la réflexion théorique va de paire avec l'action. Il est co-fondateur de la régionale de l'APM dont il devient le premier président vers 1965. Il crée des groupes de travail, des réunions, des conférences... Il crée au sein de la maîtrise d'enseignement de mathématiques un enseignement de psychologie et de didactique. Il va donner des cours dans diverses écoles, crée une équipe de recherche en didactique et est un promoteur de l'IREM de Grenoble.

Jean Kuntzmann prendra sa retraite à 65 ans en 1977.

V — JEAN KUNTZMANN : UNE PHILOSOPHIE DE LA RECHERCHE ET DE LA VIE

Jean Kuntzmann a changé plusieurs fois de sujets de recherche dans sa vie. C'était une philosophie (il recommandait de changer de sujet tous les dix ans) très saine qui lui permettait de saisir, dès leur naissance, de nouveaux sujets. Le texte précédent ne peut donner une idée des nombreux combats que Jean Kuntzmann a mené pour créer et développer notre discipline. Il était un combattant exemplaire : sans paroles inutiles, il préparait avec un soin extrême ses interventions. Il démontrait ses idées avec des statistiques imparables et arrivait souvent à convaincre. De toute façon, il n'était pas là pour perdre son temps...

Il est difficile maintenant de comprendre ce qu'il a fallu de ténacité, de volonté et de clairvoyance pour faire évoluer une faculté de province, une discipline nouvelle (l'analyse numérique), une science nouvelle (l'informatique) dans le contexte de l après-guerre. Pour finir, nous allons citer les dernières phrases de sa bibliographie :

Si je voulais terminer par un conseil, je dirais les deux choses qui me paraissent essentielles :

– *faire du bon travail. Je voudrais rappeler ici la parole du physicien G. Bruhat « Faites du bon travail, tout le reste vous sera donné par surcroît ». Cela a été, je pense, la devise qui a guidé toute ma vie professionnelle.*
– *Garder l'équilibre : recherche, enseignement, contacts extérieurs.*

Ces conseils sont toujours d'actualité.

Je n'ai pas souhaité parler du peu de la vie privée de Jean Kuntzmann que j'ai pu connaître. Il importe de savoir que, là encore, il fût exceptionnel jusqu'à son dernier jour.

VI — REMERCIEMENTS

Ce petit texte est un résumé (avec quelques commentaires) d'un extraordinaire document commis par Jean Kuntzmann et intitulé Naissance et jeunesse de l'IMAG. Ce document est plus profond que le texte ci-dessus, en particulier on y trouve une étude à la Kuntzmann (chiffres et tableaux) de l'évolution que je viens d'évoquer.

Sa personnalité transparaît à chaque page. Une deuxième source de très grande valeur est un recueil de plusieurs textes d'élèves de Jean Kuntzmann. Ce petit opuscule se nomme `CHIFFRE` et reproduit, en première page, la couverture du premier numéro de cette revue. J'ai pillé les articles de cette revue avec émotion. On pourra aussi consulter les mémoires de notre cher collègue François Robert qui présentent une vision exceptionnelle (et très personnelle…) de la recherche et de la vie à Grenoble pendant (en particulier) cette période. P.-J. Laurent a écrit une belle préface au texte de J. Kuntzmann. Il est clair qu'en tant qu'ancien élève du maître il aurait beaucoup à nous apprendre. Louis Bolliet m'a corrigé plusieurs erreurs. Le directeur de l'IMAG, Yves Chiaramella, le directeur de l'ENSIMAG, M. Roger Mohr, le directeur du laboratoire LMC-IMAG, G.-H. Cottet m'ont encouragé dans ce petit travail. Marie-Christine Merloz et Clotilde Chaland m'ont aidé à chercher la documentation. Mme Joanna Janik, directrice de la bibliothèque de l'IMAG a trouvé de très nombreux documents (dont la thèse d'état). J.-F Maitre est probablement à l origine de l'idée de cet article. Enfin Michèle Benois a partagé avec moi sa profonde connaissance de Jean Kuntzmann, de ses idées, de son œuvre et surtout du contexte grenoblois et national de cette période.

ANNONCE CEA-GAMNI

La Direction de l'Energie Nucléaire du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et le Groupe pour l'Avancement des Méthodes Numériques de l'Ingénieur (GAMNI, sous-groupe de la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) organisent pour la dix-septième année consécutive un Séminaire sur :

LA MÉCANIQUE DES FLUIDES NUMÉRIQUE

qui se déroulera les 24 et 25 Janvier 2005, à l'Institut Henri Poincaré (11 rue d'Ulm à Paris 5ème).

Son objectif est de permettre la rencontre entre physiciens, mathématiciens, numériciens, et ingénieurs de divers horizons (aéronautique, nucléaire, espace, industrie pétrolière…) travaillant au carrefour de la modélisation, de la simulation numérique, et de l'analyse mathématique en mécanique des fluides.

Le comité scientifique, composé de Rémi Abgrall, Grégoire Allaire, Frédéric Ducros, Alain Forestier, Edwige Godlewski, Sergey Gavrilyuk, Samuel Kokh, Paul Métier, Pascal Omnes, et Henri Paillère, choisira les thèmes scientifiques retenus et désignera les conférenciers invités. Une session de posters est prévue pour laquelle un appel à contributions sera lancé prochainement.

Un programme contenant les modalités d'inscription (gratuite) sera diffusé ultérieurement. Pour tous renseignements complémentaires, ou pour consulter le programme de l'édition précédente de ce séminaire, vous pouvez consulter sur la toile l'adresse :

`www.cmap.polytechnique.fr/~allaire/gamni/semihp.html`

RÉSUMÉS DE THÈSES

par Adel Blouza

Il est rappelé aux personnes qui souhaitent faire apparaître un résumé de leur thèse ou de leur HDR que celui-ci ne doit pas dépasser une vingtaine de lignes. Le non-respect de cette contrainte conduira inexorablement à un retard important de leur parution voire à un refus de publication.

HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES

Hervé Cardot

Contributions à la modélisation statistique fonctionnelle.

Soutenue le 20 octobre 2004
à l'université Paul Sabatier
(Toulouse III)

La présentation débutera par un exposé de mes travaux sur les modèles pour données fonctionnelles (régression linéaire, modèles linéaires généralisés et quantiles conditionnels). J'expliquerai en quoi l'estimation d'un modèle de régression dans un cadre fonctionnel est généralement un *problème mal posé*.
Il devient alors nécessaire d'introduire une procédure de *régularisation* (par une pénalisation ou une réduction de la dimension) afin d'exhiber un estimateur convergent. Les résultats de convergence sont obtenus sous des hypothèses faibles et je discuterai comment il est possible de les améliorer.
Je détaillerai ensuite deux exemples concrets portant sur l'utilisation de chroniques d'images satellite basse résolution en agriculture qui illustrent bien à la fois le métier de *statisticien modélisateur* à l'INRA et le potentiel des méthodes nonparamétriques et fonctionnelles. Il s'agit de problèmes de *désagrégation* d'une information spatiale à l'aide d'observations temporelles.
La première question concerne l'estimation du plan d'occupation des sols à l'aide d'une chronique d'observations à la résolution kilométrique (suite temporelle de pixels basse résolution). Nous verrons pourquoi des approches naturelles basées sur une description physique du phénomène d'agrégation se montrent inefficaces par rapport à un modèle de type multilogit fonctionnel.
La deuxième question concerne l'estimation des réponses locales des cultures. Ces réponses dépendent de variables telles que la nature du sol, les pratiques des agriculteurs,..., qui ne sont pas toutes observables. C'est pourquoi nous proposons un modèle nonparamétrique à *effets aléatoires* de désagrégation qui permet de tenir compte des variations locales des réponses et des mécanismes individuels. D'un point de vue « données fonctionnelles », ce modèle est une généralisation de l'ACP lorsqu'on observe des mélanges bruités de fonctions aléatoires issues de différentes populations.

THÈSES DE DOCTORAT D'UNIVERSITÉ

Hoarau-Mantel Thierry-Vincent
Directeurs de thèse : M. Sofonea & M. Barboteu

Contribution à l'étude mathématique et numérique de quelques problèmes en Mécanique du contact.

Soutenue le 3 décembre 2003 à l'université de Perpignan

La multitude, la diversité et la complexité des problèmes de contact conduisent à de nombreux modèles mathématiques gouvernés par des équations aux dérivées partielles non linéaires. Motivés par la richesse qu'apporte ce domaine, nous nous proposons d'étudier quelques problèmes de contact dans le cadre des petites et grandes déformations pour des matériaux élastiques et visco-élastiques. Cette thèse présente l'éventail des problèmes abordés et se structure en quatre parties.

La première partie contient l'ensemble des outils mathématiques et mécaniques nécessaires à une bonne compréhension de la suite de ce manuscrit.

La deuxième partie porte sur l'étude de trois problèmes élastiques et visco-élastiques dans le cadre des petites déformations. Nous prouvons pour ces problèmes, l'existence, parfois l'unicité, et la dépendance continue des solutions faibles (*déplacements*) et (*contraintes*).

La troisième partie contient l'étude d'un problème de contact unilatéral sans frottement entre deux corps visco-élastiques en petites déformations. Nous illustrons les résultats théoriques par des simulations numériques en dimension deux.

La quatrième partie est dévouée à la modélisation numérique des problèmes élastiques et visco-élastiques de contact unilatéral avec frottement sec de Coulomb dans le cadre des grandes déformations. L'algorithme mis en œuvre couple les méthodes des éléments finis et des différences finies et est basée sur une méthode de Newton généralisée. Nous présentons des essais numériques de compressions d'un réseau composé de cellules hexagonales en dimension deux.

Obeid-El Hamidi Amira
Directeurs de thèse : M. Amara & G. Vallet

Sur une équation elliptique non linéaire dégénérée.

Soutenue le 19 décembre 2003 à l'université de Pau et des Pays de l'Adour

L'objectif de ce travail est d'établir l'existence et l'unicité de la solution pour une équation elliptique non linéaire dégénérée, posée dans un domaine non borné. Dans un premier temps, on mène notre étude dans un domaine borné et ceci en tronquant le domaine infini de l'étude.

Dans la première partie, on introduit le problème variationnel associé qui se traduit en terme d'une fonctionnelle (non coercive) à minimiser.

Ainsi, on associe au problème de minimisation un problème dual puis on montre, pour ce dernier, l'existence et l'unicité de la solution. Ensuite on prouve par l'extraction d'une sous-suite minimisante l'existence d'une *solution* liée à la solution du problème dual.

Dans la deuxième partie, on définit un problème relaxé (associé au problème initial) et on montre qu'il possède le même infimum que le problème initial. Ensuite on établit que cet infimum est un minimum pour le problème relaxé.

Les résultats de la première partie sont ensuite étendus au cas non borné et ceci en utilisant des espaces avec poids comme cadre fonctionnel d'étude.

Enfin, on donne quelques critères pour estimer l'erreur de troncature entre les solutions du problème dual définies dans le cas borné et non borné.

Céline Baranger
Directeur de thèse : L. Desvillettes

Modélisation, études mathématiques et simulation des collisions dans les fluides complexes.

Soutenue le 17 Juin 2004
à l'ENS Cachan

Dans ce travail, nous nous intéressons à des problèmes issus de la Mécanique des Fluides et plus particulièrement au cas des aérosols (ou sprays, c'est-à-dire un ensemble de particules en suspension dans un fluide environnant). Les phénomènes physiques mis en jeu sont modélisés par des équations aux dérivées partielles (EDP). La phase continue (*fluide environnant*) est décrite par des équations issues de la mécanique des milieux continus de type Navier-Stokes ou Euler. La phase dispersée est décrite par une équation cinétique de type Boltzmann.

Le premier résultat que nous présentons est consacré à l'étude mathématique d'un couplage entre une équation cinétique de type Vlasov et les équations d'Euler isentropiques. Ces équations modélisent un spray fin. Nous démontrons l'existence en temps petit d'une solution régulière pour le couplage Vlasov-Euler isentropique.

Ensuite, nous présentons les équations précises relatives à la modélisation des collisions, coalescences et fragmentations dans un spray.

Nous décrivons par la suite la simulation numérique du couplage fluide-cinétique dans un code industriel (Commissariat à l'énergie Atomique), en particulier l'ajout des phénomènes de collisions.

Un deuxième modèle de fragmentation est également présenté. Ce modèle est plus pertinent dans les cas où les particules de la phase dispersée ont un grand nombre de Weber.

Enfin, nous présentons un résultat concernant une estimation explicite de trou spectral pour l'opérateur de Boltzmann avec potentiels durs linéarisé, et pour l'opérateur de Landau avec potentiels durs linéarisé.

"ResumesTheses" — 18/11/2004 — 17:18 — page 100 — #4

Tanoh Germain
Directeur de thèse : D. Noll

Algorithmes du point intérieur pour l'optimisation en tomographie dynamique et en mécanique du contact.

Soutenue le 10 septembre 2004 à l'université Paul Sabatier (Toulouse III)

Dans cette thése nous proposons quelques méthodes d'optimisation primales et primales-duales avec des applications en tomographie dynamique et pour un probléme de contact en élasticité linéaire. Un algorithme primal-dual pour un probléme inverse de tomographie dynamique est décrit. Ce probléme fait intervenir des contraintes d'inégalités linéaires pour tenir compte de l'aspect dynamique de la reconstruction d'image. Sa résolution est effectuée par une méthode des régions de confiance adaptée aux problémes mal posés. Compte tenu de la grande taille du probléme, nous avons adopté des techniques itératives qui nécessitent seulement le résultat d'un produit matrice vecteur.

Une méthode de Newton basée sur une pénalisation logarithmique est développée. Nous proposons une nouvelle méthode d'optimisation pour le probléme de contact en ingénierie mécanique. Nous étudions quelques propriétés du probléme pénalisé par une fonction barriére logarithmique et montrons que sa solution converge fortement. Une variante basée sur le Lagrangien augmenté est examinée. L'approche primale-duale exploite les techniques de lissage de Newton appliquées aux inéquations variationnelles issues du probléme de contact. Dans le cas d'un probléme avec frottement, le probléme de contact est non différentiable. En appliquant la théorie de la dualité aux conditions de contact, un probléme dual avec des contraintes d'inégalités quadratiques et linéaires est obtenu. Un algorithme de Newton primal-dual est proposé. Sa spécificité réside dans le traitement des contraintes quadratiques dans le cas d'un probléme 3D. Notre méthode peut être considérée comme une extension des techniques d'optimisation de somme de normes euclidiennes. Notre étude comporte quelques résultats numériques.

Muradore Fabien
Directeur de thèse : M. Masmoudii

Optimisation de forme pour l'amélioration de la qualité d'essuyage des pare-brise.

Soutenue le 28 septembre 2004 à l'université Paul Sabatier (Toulouse III)

Les problémes d'optimisation en contexte industriel sont souvent des problémes multidisciplinaires dans lesquels l'évaluation de la fonction objectif est coûteuse en temps de calcul. De plus, un gradient de cette fonction est rarement accessible. Les méthodes d'optimisation d'ordre zéro telles que Nelder-Mead ou Pattern-Search ont été développées pour répondre à ce besoin réel. Malheureusement, ces méthodes nécessitent beaucoup d'appels à la

"ResumesTheses" — 18/11/2004 — 17:18 — page 101 — #5

fonction coût, et le résultat de l'optimisation n'apporte pas toujours satisfaction aux ingénieurs.

Le sujet de cette thése entre tout à fait dans ce cadre : un compromis doit être trouvé entre les différents acteurs impliqués dans le processus de conception d'un véhicule. Le constructeur automobile définit le style global du véhicule. Le verrier doit être capable de fabriquer le pare-brise et assure la conformité de la vitre envers les normes optiques en vigueur. Enfin, l'équipementier essuyeur doit garantir une bonne qualité d'essuyage. Pour résoudre ce probléme, nous avons développé une méthode d'approximation basée sur les réseaux de neurones, qui ne requiert le réglage que de quelques paramétres entiers. Ce modéle nous permet d'utiliser des méthodes classiques d'optimisation d'ordre un dans un procédé d'optimisation qui laisse toute sa place à l'ingénieur.Nous montrons ici l'efficacité de la méthode pour l'optimisation de différentes fonctions tests.

Modifier une forme est un probléme industriel classique : il s'agit de réveiller une géométrie morte encastrée sur son bord. Nous avons utilisé des "B-Splines clampées" qui permettent de prendre en compte des contraintes de forme (telles que l'encastrement et la symétrie) sans calcul supplémentaire.

Nous avons finalement mis au point une approche interactive qui permet de trouver des solutions respectant les besoins des concepteurs. Le premier banc de recherche pour systéme d'essuyage de l'entreprise, dont les applications vont bien au delà de ce travail, a été développé au cours de ce projet pour la validation des résultats numériques obtenus.

Calvel Sonia
Directeur de thèse : M. Mongeau

Conception d'organes automobiles par optimisation topologique.

Soutenue le 5 octobre 2004
à l'université Paul Sabatier
(Toulouse III)

Dans l'industrie automobile, les réductions de masse permettent des économies de matiéres premiéres et des gains importants en performance. Cet allégement ne peut cependant pas se faire au détriment des exigences en matiére de confort et de sécurité. Dans ce contexte, l'objectif de l'optimisation topologique est de déterminer, en amont des projets, les caractéristiques générales des piéces mécaniques.

Les logiciels commerciaux actuels ne permettant pas l'intégration de toutes les contraintes déclinées sur les projets véhicules, notamment les contraintes vibro-accoustiques, nous proposons dans cette thése une méthodologie et une solution logicielle associée, permettant la prise en compte d'un cahier des charges conforme à ceux utilisés chez Renault. Nous combinons pour cela la méthode d'optimisation topologique SIMP et 'algorithme d'optimisation numérique FSQP.

Aprés avoir évalué notre méthode sur des cas de géométrie simple, nous montrons son potentiel sur le cas d'une face accessoires.

Haberkorn Thomas
Directeur de thèse : J. Noailles

Transfert orbital à poussée faible avec minimisation de la consommation : résolution par homotopie différentielle...

Soutenue le 18 octobre 2004 à l'ENSEEIHT (Toulouse)

Cette thése porte sur un probléme de mécanique spatiale, à savoir un transfert orbital à poussée faible, autour de la Terre, avec maximisation de la masse finale. La difficulté de ce probléme vient des discontinuités de la commande optimale et du fait que les instants de commutations ne sont pas connus (nombre et localisation). La méthode du tir simple devenant particuliérement sensible à l'initialisation, on paramétre le critére du probléme pour relier la minimisation de l'énergie à la minimisation de la consommation. La fonction de tir résultant de la paramétrisation définit alors une homotopie dont le chemin de zéros est suivi par une méthode de continuation différentielle. Une seconde homotopie, discréte celle-ci, permet d'affranchir complétement notre méthode de toute connaissance a priori sur la structure de la commande optimale, d'autant plus que le nombre de commutations peut etre trés important (plus de 1000 pour une poussee de 0.1 N et un satellite de 1500 kg). Cette méethode de résolution est implantée dans un logiciel et appliquée avec succés a notre probléme. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence un grand nombre de lois empiriques comme par exemple l'indépendance de l'évolution de la masse finale par rapport à la poussée maximale.

La Smai prolonge son opération « Thèse-Math » et offre une adhésion gratuite à la Smai pour 2004 aux jeunes chercheurs en mathématiques appliquées qui ont soutenu leur thèse en 2003 et l'ont inscrite sur le site MathDoc. Remplir le formulaire d'adhésion à la Smai en cochant la case « Opération Thèse-Math 2004 » et en remplissant les lignes « Date de la thèse » et « URL complet du résumé de votre thèse ».
`http://smai.emath.fr/article.php3?id_article=71`

ANNONCES DE COLLOQUES

par Boniface Nkonga

Janvier 2005

FLACAM 2005 : VII FRENCH-LATIN AMERICAN CONGRESS IN APPLIED MATHEMATICS

du 11 au 18 janvier 2005 au Centro de Modelamiento Matemático à Santiago du Chili

`www.cmm.uchile.cl/flacam05`

LA MÉCANIQUE DES FLUIDES NUMÉRIQUE

du 24 au 25 Janvier 2005 à l'IHP (Paris)

`www.cmap.polytechnique.fr/allaire/gamni/semihp.html`

Février 2005

24TH IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING, IDENTIFICATION AND CONTROL - MIC 2005

Du 16 au 18 février 2005 à Innsbruck, Austria

`www.iasted.org/conferences/2005/innsbruck/c457.htm?con`

LE 6ÈME CONGRÈS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE ET D'AIDE À LA DÉCISION (ROADEF)

Les 14, 15 et 16 février à à Polytech'Tours

`www.ocea.li.univ-tours.fr/roadef05`

COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING

Du 12 au 15 février 2005 à Orlando (USA)

`www.siam.org/meetings/cse05/`

3^{e} SEMESTRE DE LA CHAIRE UNESCO EN MATHEMATIQUES ET DEVELOPPEMENT : TRAITEMENT DU SIGNAL ET DE L'IMAGE

Du 7 février au 27 avril 2005 à Tunis

`www.tn.refer.org/unesco/accueil-unesco-fr.html`

Mars 2005

INTERNATIONAL WORKSHOP ON HYBRID SYSTEMS : COMPUTATION AND CONTROL

Du 9 au 11 mars 2005 à Zurich (Switzerland)

`www.hscc05.ethz.ch/`

Avril 2005

2e COLLOQUE SUR LES TENDANCES DANS LES APPLICATIONS MATHÉMATIQUES EN TUNISIE, ALGÉRIE, MAROC

Du 26 au 28 Avril 2005 à Tunis

`tamtam05.tn.refer.org/`

NONLINEAR EVOLUTION EQUATIONS AND WAVE PHENOMENA : COMPUTATION AND THEORY

Du 11 au 14 avril 2005, University of Georgia, Athens (USA)

`www.cs.uga.edu/thiab/waves2005.html`

Mai 2005

7TH IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND APPLICATIONS

Du 18 au 20 mai 2005 à Cancun, Mexico

`www.iasted.org/conferences/2005/cancun/submit-460.htm?con`

INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC COMPUTATION AND DIFFERENTIAL EQUATIONS

Du 23 au 27 mai 2005 à Nagoya (Japon)

`www.math.human.nagoya-u.ac.jp/scicade05`

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECONDITIONING TECHNIQUES FOR LARGE SPARSE MATRIX PROBLEMS IN SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL APPLICATIONS

Du 19 au 21 mai 2005 à Emory University, Atlanta (USA)

`www.mathcs.emory.edu/conferences/pc2005/`

INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE

Du 22 au 25 mai 2005 à Emory University, Atlanta (USA)

`www.mathcs.emory.edu/dcl/meetings/iccs2005`

Juin 2005

GENETIC AND EVOLUTIONARY COMPUTATION CONFERENCE

Du 25 au 29 juin 2005 à Washington DC (USA)

`www.isgec.org/gecco-2005/`

MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS & CONFÉRENCES EN EUROPE

Du 1 au 5 juin 2005 à Trakai (Lithuania)

`www.vtu.lt/rc/mma2005/`

Juillet 2005

CIM (Centro Internacional de Matemática) Thematic Term on Optimization

Du 5 au 29 juillet 2005 au Portugal
Email, Web, http ://www.mat.uc.pt/tt2005 Date limite :

POSITIVITY IV

Du 25 au 29 juillet 2005 à Technische Universität Dresden (Allemagne)

`www.math.tu-dresden.de/~pos_iv`

8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENERALIZED CONVEXITY/MONOTONICITY

Du 4 au 8 juillet 2005 à Varese (Italie)

`eco.uninsubria.it/gcm8`

SIXTH EUROPEAN CONFERENCE ON NUMERICAL MATHEMATICS AND ADVANCED APPLICATIONS

Du 18 au 22 juillet 2005 à Santiago de Compostela (Espagne)

`www.usc.es/enumath2005`

SCIENTIFIC COMPUTATION, APPLIED MATHEMATICS AND SIMULATION

Du 11 au 15 juillet 2005 à Paris

`imacs2005.ec-lille.fr/index.php`

Août/septembre 2005

17^{e} CONGRÈS FRANÇAIS DE MÉCANIQUE : ÉCOULEMENTS POLYPHASIQUES ET MILIEUX GRANULAIRES

Du 29 août au 2 septembre 2005, Univ. de technologie de Troyes

`www-cfm2005.utt.fr/`

Cette rubrique est actualisée sur la page Web : `www.math.u-bordeaux.fr/matapli`
L'agenda des conférences (ACM) est toujours à l'adresse : `http://acm.emath.fr`
Serveurs de conférences sur le Web : AllConference - `www.allconferences.com/Science/` ; SIAM Meetings - `http://siam.org/meetings/calendar.htm`

SMAI

Bulletin d'adhésion 2004 - Personnes morales

L'adhésion est valable pour l'année civile 2004

Institution : _

Nom : _

Sigle : _

Service ou département : _

Site web : _

Représentée par : M., Mme, Melle,

Prénom, NOM : _

Titre ou fonction : _

Adresse : _

_ _

Téléphone : _ Télécopie : _

Adresse électronique :

Votre adresse peut-elle être communiquée à des annonceurs ? ❍ oui ❍ non

Serveur de liste électronique. Souhaitez-vous que votre adresse électronique soit ajoutée à la liste d'envoi de la SMAI ? ❍ oui ❍ non

Tarif des cotisations : *(ne cochez qu'une seule case)*

❍ Cotisation SMAI laboratoire industriel (LI) 510 €

Ce tarif permet d'obtenir gratuitement un jeu d'étiquettes des adhérents de la SMAI

❍ Cotisation SMAI laboratoire universitaire (LU) 155 €

Montant de la cotisation [€]

Suppléments éventuels : *(cochez la/les case(s) de votre choix)*

❍ Soutien à la participation de la SMAI à l'EMS 40 €

Ce soutien comprend une cotisation EMS et permet de recevoir EMS Newsletter

❍ Soutien à la participation du GAMNI/SMAI à ECCOMAS 40 €

Ce soutien permet de recevoir ECCOMAS Newsletter

Montant des suppléments [€]

Total de la cotisation et des suppléments [€]

Modalités de règlement :

❍ Par chèque bancaire ou postal, ci-joint, à l'ordre de la SMAI

❍ Par bon de commande ci-joint

Factures : nombre d'exemplaires désiré : _

Adresse de facturation : _

_ _

Fait à _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ le _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 2004

Signature

SMAI

Bulletin d'adhésion 2004 - Personnes physiques

L'adhésion est valable pour l'année civile 2004

M., Mme, Melle, Prénom, NOM : ______________________________
Titre ou fonction : ______________________________
Établissement de fonction ou de rattachement : ______________________________
____
____

Adresse professionnelle : ______________________________
Société ou université : ______________________________
Service ou département : ______________________________
Adresse : ______________________________
____
____

Téléphone professionnel : ______________________________
Télécopie : ______________________________
Adresse électronique : ______________________________

Adresse personnelle : ______________________________
____
____

Téléphone personnel : ______________________________
Page web personnelle : ______________________________

Adresse de correspondance : *(indiquez l'adresse à laquelle vous désirez recevoir votre courrier)*
❍ adresse professionnelle ❍ adresse personnelle

Votre adresse personnelle peut-elle figurer dans l'annuaire de la SMAI ? ❍ oui ❍ non

Votre adresse de correspondance peut-elle être communiquée à des annonceurs ? ❍ oui ❍ non

Serveur de liste électronique :
Souhaitez-vous que votre adresse électronique apparaisse dans la liste d'envoi de la SMAI ? ❍ oui ❍ non

Groupes permanents de la SMAI :
Si vous désirez appartenir à un ou plusieurs de ces groupes, cochez la/les case(s) correspondante(s)

❍ GAMNI Groupe pour l'Avancement des Méthodes Numériques de l'Ingénieur
❍ MAS Modélisation Aléatoire et Statistique
❍ MODE Mathématiques de l'Optimisation et de la Décision
❍ AFA Association Française d'Approximation

Merci de renvoyer ce bulletin accompagné de votre règlement à :
SMAI, Institut Henri Poincaré, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75231 PARIS Cedex 05

Voir au dos pour les tarifs

Tarifs des cotisations 2004 - Personnes physiques

L'adhésion est valable pour l'année civile 2004

Cotisation SMAI ***(ne cocher qu'une seule case)***

❍ Cotisation SMAI simple		47 €
❍ Cotisation SMAI jeune (né(e) après le 1er janvier 1974, joindre un justificatif)*		16 €
❍ Adhésion SMAI dans le cadre de l'opération Thèse-Math-2004		gratuit
Date de la thèse et URL du résumé : _		
❍ Cotisation SMAI retraité		35 €
❍ Cotisation réduite pour les ressortissants de pays en développement		16 €
❍ Cotisations jumelées :		
SMAI + SFdS	(35 + 39)	74 €
SMAI + SMF	(35 + 45)	80 €
SMAI + SMF jeune (*cf.* *)	(16 + 25)	41 €
SMAI + SMF retraité	(35 + 35)	70 €
SMAI + SFdS + SMF	(34 +39 + 45)	119 €
❍ Tarif préférentiel pour les membres 2004 de AMS (USA), GAMM(D), "F & M" (F) ou UPS (F) (joindre un justificatif)		35 €
❍ Tarif réduit pour les membres 2004 de SEMA (E), SIMAI (I), UMI (I) (joindre un justificatif)		24 €

Suppléments éventuels *(cocher la/les case(s) de votre choix)*

Ces suppléments ne peuvent être souscrits qu'en complément d'une cotisation SMAI ci-dessus

❍ Abonnement à l'Officiel des Mathématiques pour 2004	
– adresse en Europe	22 €
– adresse hors Europe	26 €
❍ Soutien à la participation du GAMNI/SMAI à ECCOMAS	10 €
Ce soutien permet de recevoir ECCOMAS Newsletter	
❍ Cotisation European Mathematical Society (EMS)	20 €
Cette cotisation permet de recevoir EMS Newsletter	
❍ Soutien aux fonds de l'International Mathematical Union (IMU)	
– Commission pour le Développement et les Echanges	€
– Fonds Spéciaux de Développement	€
– Fonds de Solidarité de l'ICMI	€
❍ Don au CIMPA - *Ce don ouvre droit à réduction d'impôts (1)*	€
❍ Don à la SMAI (*cf.* 1)	€
Montant des suppléments	**€**

Total de la cotisation et des suppléments **€**

Modalités de règlement

❍ Par chèque postal ou chèque bancaire sur une banque française.
Joindre à ce bulletin le chèque du montant total ci-dessus, à l'ordre de la SMAI.

❍ Par carte bancaire ❍ Visa ❍ Mastercard Banque :
n°carte |__|__|__|__| |__|__|__|__| |__|__|__|__| |__|__|__|__| Date d'expiration |__|__| |__|__|

❍ Par prélèvement automatique. *Demander le formulaire à la SMAI*

❍ Par bon de commande, par virement ou par chèque sur une banque étrangère.
Frais de dossier *10 €*

Total à payer **€**

Factures : nombre d'exemplaire désiré : _
adresse de facturation : _
_ _
_ _

Fait à _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ le _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 2004

Signature

CORRESPONDANTS RÉGIONAUX

Aix-Marseille *Jacques Liandrat*
LATP EGIM
BP 142
13383 MARSEILLE Cedex 13
Tél. : 04 91 11 85 40/04 - Fax : 04 91 11 85 02
liandrat@marius.univ-mrs.fr

Amiens *Alberto Farina*
LAMFA
Université de Picardie Jules Verne
33 rue Saint Leu
80039 AMIENS Cedex
Tél. : 03 22 82 75 88 - Fax : 03 22 82 75 02
Alberto.Farina@u-picardie.fr

Antilles-Guyane *Marc Lassonde*
Mathématiques
Université des Antilles et de la Guyane
97159 POINTE A PITRE
Marc.Lassonde@univ-ag.fr

Avignon *Alberto Seeger*
Département de Mathématiques
Université d'Avignon
33 rue Louis Pasteur - 84000 AVIGNON
Tél. 04 90 14 44 93 - Fax 04 90 14 44 19
alberto.seeger@univ-avignon.fr

Belfort *Michel Lenczner*
Laboratoire Mécatronique3M
UTBM
90010 Belfort Cedex
Tél. : 03 84 58 35 34 - Fax : 03 84 58 31 46
Michel.Lenczner@utbm.fr

Besançon *Mihai Bostan*
UFR Sciences et Techniques
16 route de Gray 25030 Cedex Besancon
Tél : 03 81 66 63 38 - Fax : 03 81 66 66 23
mbostan@descartes.univ-fcomte.fr

Bordeaux *Cédric Galusinski*
Laboratoire de Mathématiques Appliquées
Université de Bordeaux I
351 cours de la Libération - 33405 TALENCE Cedex
Tél. : 05 57 96 21 28 - Fax : 05 56 84 26 26
galusins@math.u-bordeaux.fr

Brest *Marc Quincampoix*
Département de Mathématiques
Faculté des Sciences
Université de Bretagne Occidentale
BP 809 - 29285 BREST Cedex
Tél. : 02 98 01 61 99 - Fax : 02 98 01 67 90
Marc.Quincampoix@univ-brest.fr

Cachan ENS *Sylvie Fabre*
CMLA-ENS Cachan
61 avenue du Président Wilson
94235 CACHAN Cedex
fabre@cmla.ens-cachan.fr

Clermont - Ferrand *Rachid Touzani*
Laboratoire de Mathématiques Appliquées
Université Blaise Pascal,
BP 45 - 63177 AUBIERE Cedex
Tél. : 04 73 40 77 06 - Fax : 04 73 40 70 60
Rachid.Touzani@math.univ-bpclermont.fr

Compiègne *Véronique Hédou-Rouillier*
Équipe de Mathématiques Appliquées
Departement Génie Informatique
Université de Technologie
BP 20529 - 60205 COMPIEGNE Cedex
Tél : 03 44 23 49 02 - Fax : 03 44 23 44 77
Veronique.Hedou@dma.utc.fr

Dijon *Christian Michelot*
UFR Sciences et techniques
Université de Bourgogne
BP400 - 21004 DlJON Cedex
Tél. : 03 80 39 58 73 - Fax : 03 80 39 58 90
michelot@u-bourgogne.fr

Evry la Génopole *Bernard Prum*
Département de Mathématiques
Université d'Évry Val d'Essonne
Bd des Coquibus - 91025 ÉVRY Cedex
Tél. : 01 60 87 38 06 - Fax : 01 60 87 38 09
prum@genopole.cnrs.fr

Grenoble *Pierre Saramito*
Laboratoire de Modélisation et Calcul - IMAG
Université Joseph Fourier
BP 53 - 38041 GRENOBLE Cedex 9
Tél. : 04 76 51 46 10 - Fax : 04 76 63 12 63
Pierre.Saramito@imag.fr

Grenoble 2 *Frédérique Letué*
Bât. des Sciences de l'homme de la société
BP 47 - 38040 GRENOBLE Cedex 9
Tél. : 04 76 82 59 58 - Fax : 04 76 82 56 40
Frederique.Letue@iut2.upmf-grenoble.fr

Israël *Ely Merzbach*
Dept. of Mathematics and Computer Science
Bar llan University. Ramat Gan. - Israel 52900
Tél. : (972-3)5318407/8 - Fax : (972-3)5353325
merzbach@macs.biu.ac.il

La Réunion *Philippe Charton*
Dépt. de Mathématiques et Informatique
IREMIA,
Université de La Réunion – BP 7151
97715 SAINT-DENIS MESSAG Cedex 9
Tél. : 02 62 93 82 81 - Fax : 02 62 93 82 60
Philippe.Charton@univ-reunion.fr

Le Havre *Adnan Yassine*
IUT du Havre
Place Robert Schuman
BP 4006 - 76610 LE HAVRE
Tél. : 02 32 74 46 42 - Fax : 02 32 74 46 71
adnan.yassine@iut.univ-lehavre.fr

Lille *Caterina Calgaro*
Laboratoire de Mathématiques Appliquées
Université des Sciences et Technologies de Lille
Bat. M2, Cité Scientifique,
59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex
Tél. : 03 20 43 47 13 - Fax : 03 20 43 68 69
Caterina.Calgaro@univ-lille1.fr

Limoges *Paul Armand*
LACO, ESA 6090 - Univ. de Limoges
123 avenue A. Thomas
87060 LIMOGES Cedex
Tél. : 05 55 45 73 30 - Fax : 05 55 45 73 22
paul.armand@unilim.fr

Lyon *Michèle Chambat*
Laboratoire d'Analyse Numérique
MAPLY – Bat. 10
Université Lyon I
43 bd du 11 Novembre 1918
69622 VILLEURBANNE Cedex
Tél. : 04 72 44 85 25 - Fax : 04 72 44 80 53
chambat@lan.univ-lyonl.fr

Marne La Vallée *Pierre Vandekerkhove*
Equipe d'Analyse et de Math. Appliquées
Univ. de Marne-la-Vallée Cité Descartes
5 bd Descartes - 77454 MARNE-LA-VALLEE Cedex 2
Fax : 01 60 95 75 45 -
vandek@math.univ-mlv.fr

Maroc *Khalid Najib*
École nationale de l'industrie minérale
Bd Haj A. Cherkaoui, Agdal
BP 753, Rabat Agdal 01000 RABAT
Tél. : 00 212 37 77 13 60 - Fax : 00 212 37 77 10 55
najib@enim.ac.ma

Mauritanie *Zeine Ould Moharned*
Équipe de Recherche en Informatique
et Mathématiques Appliquées
Faculté des Sciences et Techniques
Université de Nouakchott
BP 5026 - NOUAKCHOTT-MAURITANIE
Tel : 222 25 04 31 - Fax : 222 25 39 97
zeine@univ-nkc.mr

Metz *Zakaria Belhachmi*
Département de Mathématiques
Université de Metz
Ile du Saulcy - 57 045 METZ Cedex 01.
Tél. : 03 87 54 72 87 - Fax : 03 87 31 52 73
belhach@poncelet.univ-metz.fr

Montpellier *Bruno Koobus*
Laboratoire ACSIOM
Université de Montpellier II, CC51
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER Cedex 5
Tél : 04 67 14 32 58 - Fax : 04 67 14 35 58
koobus@math.univ-montp2.fr

Nantes *Catherine Bolley*
École Centrale de Nantes
BP 92101 - 44321 NANTES Cedex 3.
Tél :02 40 37 25 17 - Fax :02 40 74 74 06
Catherine.Bolley@ec-nantes.fr

Nancy *Didier Schmitt*
Institut Élie Cartan
Université de Nancy 1
BP 239 - 54506 VANDŒUVRE LÈS NANCY cedex
Tél. : 03 83 91 26 67 - Fax : 03 83 28 09 89
Didier.Schmitt@iecn.u-nancy.fr

Nice *Stéphanie Lohrengel*
Lab. Jean-Alexandre Dieudonné
UMR Cnrs 6621
Université de Nice, Parc Valrose
06108 NICE Cedex 2
Tél. : 04 92 07 60 31 - Fax : 04 93 51 79 74
lohrenge@math.unice.fr

Orléans *Maitine Bergounioux*
Dépt. de Mathématiques - UFR Sciences
Université d'Orléans – BP. 6759
45067 ORLEANS Cedex 2
Tél. : 02 38 41 71 71 -Fax : 02 38 41 71 93
maitine@labomath.univ-orleans.fr

Paris I *Jean-Marc Bonnisseau*
UFR 27 - Math. et Informatique
Université Paris I - CERMSEM
90 rue de Tolbiac - 75634 PARIS Cedex 13
Tél. : 01 40 77 19 40-Fax : 01 40 77 19 80
jeanmarc.bonnisseau@uni-paris1fr

Paris V *Chantal Guihenneuc-Jouyaux*
Laboratoire de statistique médicale
45 rue des Saints Pères - 75006 PARIS
Tél. : 01 42 80 21 15 - Fax : 01 42 86 04 02
chantal.guihenneuc@univ-paris5.fr

Paris VI *Simon Masnou*
Laboratoire Jacques-Louis Lions,
Boîte courrier 187
Univ. Pierre et Marie Curie
4 place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05
Tél. : 01 44 27 71 69 - Fax : 01 44 27 72 00
masnou@ann.jussieu.fr

Paris VI *Nathanael Enriquez*
Lab. de Probabilités et Modèles Aléatoires
Univ. Pierre et Marie Curie
4 place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05
Tél. : 01 44 27 54 76 - Fax : 01 44 27 72 23
enriquez@ccr.jussieu.fr

Paris IX *Céline Grandmont*
CEREMADE - Univ. de Paris Dauphine
Place du Mal de Lattre de Tassiny
75775 PARIS Cedex 16
Tél. : 01 44 05 48 71 - Fax : 01 44 05 45 99
grandmont@ceremade.dauphine.fr

Paris XI *Laurent Di Menza*
Mathématiques Bat. 425
Univ. de Paris-Sud - 91405 ORSAY Cedex
Tél. : 01 69 15 60 32 - Fax : 01 69 15 67 18
laurent.dimenza@math.u-psud.fr

Paris XII *Yuxin Ge*
UFR de Sciences et Technologie
Univ. Paris 12 - Val de Marne
61 avenue du Général de Gaulle
94010 CRETEIL Cedex
Tél. : 01 45 17 16 52 -
ge@univ-paris 12.fr

Pau *Brahim Amaziane*
Laboratoire de Mathématiques Appliquées IPRA
Université de Pau
Avenue de l'Université
64000 PAU
Tél. : 05 59 92 31 68/30 47- Fax : 05 59 92 32 00
brahim.amaziane@univ-pau.fr

Perpignan *Didier Aussel*
Dépt de Mathématique - Univ. de Perpignan
52 avenue de Villeneuve
66860 PERPIGNAN Cedex
Tél. : 04 68 66 21 48 - Fax : 04 68 06 22 31
aussel@univ-perp.fr

Poitiers *Alain Miranville*
Dépt de Mathématiques - Univ. de Poitiers
Bd Marie et Pierre Curie - BP 30179
86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex
Tél. : 05 49 49 68 91 - Fax : 05 49 49 69 01
Alain.Miranville@mathlabo.univ-poitiers.fr

Polytechnique *Carl Graham*
CMAP, Ecole Polytechnique
91128 PALAISEAU
Tél. : 01 69 33 46 33 - Fax : 01 69 33 30 11
carl@cmapx.polytechnique.fr

Rennes *Nicoletta Tchou*
IRMAR - Campus de Beaulieu
35042 RENNES Cedex
Tél. : 02 99 28 26 19 - Fax : 02 99 28 67 90
Nicoletta.Tchou@univ-rennes1.fr

Rouen *Adel Blouza*
Laboratoire Raphael Salem
Université de Rouen Site Colbert
76821 MONT-SAINT-AIGNAN Cedex
Tél. : 02 35 14 71 15 - Fax : 02 32 10 37 94
Adel.Blouza@univ-rouen.fr

Saint-Étienne *Alain Largillier*
Laboratoire Analyse Numérique
Université de Saint Étienne
23 rue du Dr Paul Michelon
42023 ST ÉTIENNE Cedex 2
Tél : 04 77 42 15 40 - Fax : 04 77 25 60 71
larg@anum.univ-st-etienne.fr

Savoie *Ioan Ionescu*
Université de Savoie
LAMA – UMR CNRS 5127
73376 LE BOURGET DU LAC Cedex
Tél. : 04 79 75 87 65 - Fax : 04 79 75 81 42
ionescu@univ-savoie.fr

Strasbourg *Photis Nobelis*
UFR de Mathématique et Informatique
Université Louis Pasteur
7 rue René Descartes
67084 STRASBOURG Cedex
Tél. : 03 88 41 63 08 - Fax : 03 88 6l 90 69
nobelis@math.u-strasbg.fr

Toulouse *Marcel Mongeau*
Laboratoire MIP Univ. Paul Sabatier
31062 TOULOUSE Cedex 04
Tél : 05 6l 55 84 82 - Fax : 05 6l 55 83 85
mongeau@cict.fr

Tours *Christine Georgelin*
Laboratoire de Mathématiques et Physique Théorique
Faculté des Sciences et Techniques de Tours
7 Parc Grandmont – 37200 TOURS
Tél. : 02 47 36 72 6l - Fax : 02 47 36 70 68
georgelin@univ-tours.fr

Tunisie *Henda El Fekih*
ENIT-LAMSIN
BP37 1002 - TUNIS-BELVÉDERE
Tél : 2161-874700 - Fax : 2161-872729
henda.elfekih@enit.rnu.tn

Uruguay *Hector Cancela*
Universitad de la República
J. Herrera y Reissign 565
MONTEVIDEO, URUGUAY
Tél. : + 598 2 7114244 ext. 112 - Fax : + 598 2 7110469
cancela@fing.edu.uy

Zurich *Michel Chipot*
Angewandte Mathematik
Universität Zürich
Winterthurerstr. 190 - CH 8057 ZÜRICH
Tél. : (41) 1 635 58 50 - Fax : (41) 1 635 57 05
chipot@amath.unizh.ch

EN FR DE IT ES

Zentralblatt **MATH**

Search | Advanced Search | Command Search | Citation Checker | Contact

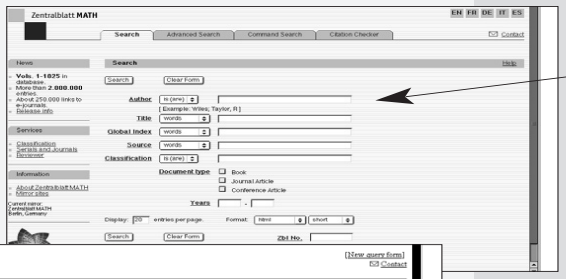
The most complete and longest running reviewing service in MATH

Some equations are almost too good to believe

2,300 serials and journals + 80,000 reviews per year + 8,000 scientists = Zentralblatt MATH

Try it out now: **Free electronic trial access***

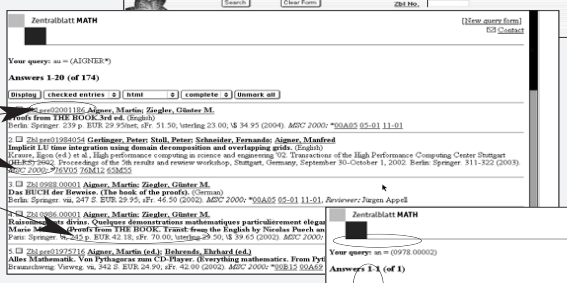
- **12 Mirrors worldwide**
- **Quick**
- **Reliable**
- **Available at any time**

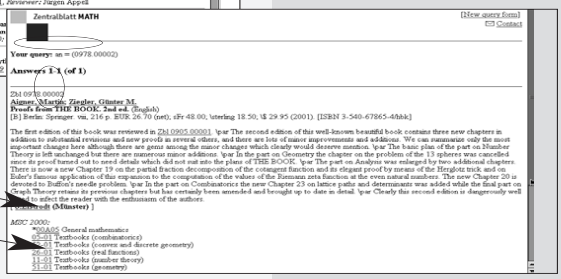


■ **Search by**
- **author**
- **MSC classification**
- **basic index**
- **publication**
- **language, etc**

■ **Get a list of articles**

Choose an article and get
the Zblatt review •
MSC codes •
publication source •
full bibliographic information •





■ **as well as links to:**
other reviews by this reviewer •
articles by all authors •
literature with the same MSC codes •
and the possibility to order articles in print or electronic

■ **cross-reference linking to original articles**

Please order from
Springer - Customer Service
Haberstr. 7
69126 Heidelberg, Germany
Tel.: +49 (0) 6221 - 345-0
Fax: +49 (0) 6221 - 345-4229
e-mail: SAG-bookorder@springer-sbm.com
or through your bookseller

www.emis.de/ZMATH
or contact Clemens Heine at heine@ springer.de

European Mathematical Society | FIZ Karlsruhe | Heidelberg Academy of Sciences | Springer

*valid for up to 3 hits per search

All € and £ prices are net-prices subject to local VAT, e.g.in Germany 7% VAT for books and 16% for electronic products. Prices and other details are subject to change without notice. 011141x

SMAI 2005

2ème Congrès National de Mathématiques Appliquées et Industrielles

23 mai - 27 mai 2005

VVF "Lac et Montagne" - Evian

(Haute Savoie)

Organisé par l'équipe Analyse Numérique et EDP d'Orsay et la SMAI (groupes AFA, GAMNI, MAS, MODE), SMAI 2005 rassemble le Congrès National d'Analyse Numérique (CANUM) et des journées spécifiques aux 4 groupes thématiques.

Comité scientifique

Rémi Abgrall, Université Bordeaux 1
François Alouges, Université Paris-Sud
Albert Cohen, Université Paris 6
Madalina Deaconu, INRIA, Lorraine
Arnaud Debussche, ENS de Cachan, antenne de Bretagne
Elyes Jouini, Université Paris-Dauphine
Bertrand Maury, Université Paris-Sud
Marie-Laurence Mazure, Université Joseph Fourier, Grenoble
Etienne Pardoux, Université Aix-Marseille 1
Frédéric Pascal, Université Paris-Sud
Valérie Perrier, ENSIMAG, Grenoble
Christian Saguez, Ecole Centrale de Paris
Eric Sonnendrücker, Université de Strasbourg 1
Lionel Thibault, Université Montpellier 2
Alain Trouvé, ENS de Cachan

SMAI 2005
Laboratoire de Mathématiques
Bâtiment 425
Université Paris-Sud
91405 Orsay Cedex

Email : smai2005@math.u-psud.fr
Web : http://www.math.u-psud.fr/SMAI2005

2ème Congrès National de Mathématiques Appliquées et Industrielles

SMAI 2005

EVIAN

VVF "Lac et Montagne"

23-27 mai 2005

Conférenciers

Grégoire Allaire
Robert Azencott
Emmanuel Candès
Bernard Cornet
Freddy Delbaen
Leslie Greengard
Frédéric Guichard
Michel Ledoux
Sylvie Méléard
Dominique Picard
Alfio Quarteroni
Enrique Zuazua

Organisé par
l'équipe Analyse Numérique et EDP
Université Paris-Sud Orsay
et la SMAI

CNRS SMAI

UNIVERSITÉ PARIS-SUD 11

http://www.math.u-psud.fr/SMAI2005