



cancam 77
proceedings
comptes rendus

**Sixth Canadian Congress
of Applied Mechanics**

**Sixième Congrès Canadien
de Mécanique Appliquée**

May 30 to June 3

1977

du 30 Mai au 3 Juin

THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA
VANCOUVER, B.C.
CANADA

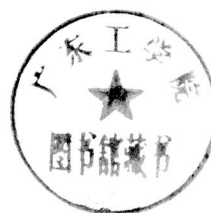
039/-2 039-53
A1 A652.7
1977 1977
V.1 V.1

7860129

cancam 77
proceedings
comptes rendus
vol. 1



E7860129



V. J. Modi
editor — éditeur

J. P. Duncan
chairman of congress
président du congrès

Reprints from this publication may be made, provided credit is given to the authors and reference is made to the Proceedings of the Sixth Canadian Congress of Applied Mechanics, University of British Columbia, 1977.

Il est permis de reproduire des portions de cette publication à condition que le nom des auteurs soit mentionné et que référence soit faite aux comptes rendus du sixième congrès canadien de mécanique appliquée, Université de la Colombie Britannique, 1977.

**THE HONORARY CHAIRMAN OF
THE SIXTH CANADIAN CONGRESS
OF APPLIED MECHANICS WAS
PROFESSOR I. TANI, OF THE
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY
TOKYO, JAPAN.**

**LE SIXIEME CONGRES CANADIEN
DE MECANIQUE APPLIQUEE ETAIT
SOUS LA PRESIDENCE D'HONNEUR
DU PROFESSEUR I. TANI, DU
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY,
TOKYO, JAPON.**

SPONSORING ORGANIZATIONS COMMANDITAIRES

Canadian Pacific Airlines
Canadian Society for Mechanical Engineering
Government of the Province of British Columbia
National Research Council of Canada
Secretary of State, Government of Canada

Ecole Polytechnique
Lakehead University
McGill University
Memorial University
Simon Fraser University
University of Alberta
University of British Columbia
University of Calgary
Université Laval
University of Saskatchewan
Université de Sherbrooke
University of Toronto
University of Victoria
University of Waterloo
University of Western Ontario
University of Windsor

PREFACE

The Sixth Canadian Congress of Applied Mechanics, CANCAM 77, the latestest in a series of biennial Canadian events, was held from May 30th to June 3rd, 1977 on the campus of the University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, under the honorary chairmanship of Professor Itiro Tani.

Eight distinguished invited lecturers from several countries whose papers are reproduced in full in these Proceedings, addressed the Congress in their particular interests within applied mechanics.

Six hundred and eighty-one abstracts were received from authors from eighteen countries. These were each evaluated by at least two reviewers and 450 were accepted and categorized within the following subdivisions in Applied Mechanics:

Mechanics of Solids, Fluid Mechanics, Thermodynamics and Heat Transfer, Biomechanics and Applied Mathematics and Computer Techniques.

The thanks of the Directors of the Sixth Canadian Congress of Applied Mechanics Society are extended to the many reviewers who assisted in the evaluation and selection of abstracts. Special thanks are due to Professor J.R. Colbourne and his committee at the University of Alberta, Edmonton, who organized and conducted the review, and to Professor G.V. Parkinson of the University of British Columbia who joined him in the final selection process.

The Congress organizers are grateful for the direct and indirect financial support received from the National Research Council of Canada, the Secretary of State, the Provincial Government of British Columbia and several Canadian universities and private companies.

The Congress was organized with the general support of the Faculty of Applied Science and the Conference Centre of the University of British Columbia. Simon Fraser University made a special contribution. All this support is gratefully acknowledged.

Finally, we are deeply indebted to Miss Penny Bush, Congress Secretary, Dr. C. R. Hazell, Dr. A. K. Misra, Mr. R. Bernier and Mr. J. C. Van der Ha for their assistance in the preparation of these Proceedings.

V. J. MODI
J. P. DUNCAN

PREFACE

Le Sixième Congrès Canadien de Mécanique Appliquée, CANCAM 77, le plus récent d'une série de congrès biennaux canadiens s'est tenu du 30 Mai au 3 Juin 1977 sur le campus de l'université de la Colombie Britannique, Vancouver, Colombie Britannique, sous la présidence honoraire du Professor Itiro Tani.

Ce congrès a eu l'honneur d'accueillir à titre de conférenciers invités, huit personnalités venant de pays différents, reconnus pour leur contribution originale au développement de la Mécanique Appliquée. Ces conférences sont reproduites intégralement dans les Comptes Rendus.

Au total, pas moins de six cent quatre-vingt-un résumés provenant d'auteurs dispersés à travers dix-huit pays nous sont parvenus. Après avoir procédé à deux revisions, au delà de 450 communications techniques ont été acceptées et classées selon les sous-divisions de la Mécanique Appliquée qui suivent:

La Mécanique des Solides, La Mécanique des Fluides, Thermodynamique et Transfert de Chaleur, Biomécanique, Mathématiques Appliquées et Méthodes Analogiques et Digitales.

Les directeurs de ce Sixième Congrès Canadien de Mécanique Appliquée tiennent à exprimer leur gratitude à tous ceux qui ont participé à l'évaluation et à la sélection des résumés. Des remerciements spéciaux au Professor J. R. Colbourne et son comité de l'université de l'Alberta, Edmonton, qui a organisé et dirigé cette revision et au Professor G. V. Parkinson de l'université de la Colombie Britannique qui s'est joint à lui pour la sélection finale des communications.

Les organisateurs sont reconnaissants de l'aide financière directe et indirecte reçue du Conseil National de la Recherche du Canada, du Secrétaire d'Etat, du gouvernement provincial de la Colombie Britannique ainsi que de plusieurs universités canadiennes et compagnies privées.

Ce congrès a été organisé avec le support de la Faculté des Sciences Appliquées, le Centre des Conférences à l'université de la Colombie Britannique et avec la collaboration spéciale de l'université Simon Fraser. Toute cette aide a été appréciée à sa juste valeur.

Enfin, nous sommes profondément reconnaissants envers Mlle Penny Bush, Secrétaire au Congrès, Dr. C. R. Hazell, Dr. A. K. Misra, Mr. R. Bernier, Mr. J. C. Van der Ha pour leur assistance dans le préparation de ces Comptes Rendus.

V. J. MODI
J. P. DUNCAN

CANCAM AWARD

The CANCAM AWARD is bestowed on a Canadian or a non-Canadian who has worked in Canada for a minimum of five years in recognition of his/her outstanding achievement in applied mechanics or in related engineering fields. The criterion for selection is the technical excellence of the candidate's contribution.

The Award consists of a medal and a scroll, and it is normally presented during a Canadian Congress of Applied Mechanics.

The CANCAM Award for 1977 is given to FRANK CLEMENTS HOOPER, a leader in thermodynamics, a pioneer of the Conserver Society, the builder of the Hooper House, the original proponent and persistent advocate of the direct use of solar energy as a practical and economic energy source for Canada; in recognition of his farsighted leadership in guiding the engineering profession and the public on to the path of conservation of valuable depletable resources by tapping a renewable energy resource; for his engineering vision, his painstaking research and for his meticulous attention to design.

PRIX CANCAM

Le prix CANCAM est accordé en reconnaissance de réalisations extraordinaires, dans le domaine de la mécanique appliquée ou dans des domaines connexes d'ingénierie, par un canadien, ou par un scientifique ayant travaillé au Canada pour un minimum de cinq ans. Le critère de sélection est l'excellence au point de vue technique de la contribution du candidat.

Le prix consiste en une médaille et un certificat et il est normalement présenté durant un Congrès Canadien de Mécanique Appliquée.

Le prix CANCAM pour 1977 est décerné au FRANK CELEMENTS HOOPER, un chef de file en thermodynamique, un pionnier de la Société de Conservation, le constructeur de la maison Hooper, l'instigateur et l'irréductible avocat de l'usage direct de l'énergie solaire comme source d'énergie pratique et économique pour le Canada; en reconnaissance de son leadership d'avant-garde qui non seulement a stimulé la recherche de nouvelles sources d'énergie, mais qui a aussi éveillé la conscience du public face au problème de la conservation de nos ressources énergétiques non renouvelables, pour son anticipation des problèmes relatifs à l'ingénierie, pour sa recherche soutenue et pour le design poignée dont il a fait preuve.

TABLE OF CONTENTS — TABLE DES MATIERES

	page
<i>Sponsoring Organizations</i> Commanditaires	ii
<i>Preface</i> Préface	iii
<i>CANCAM Award</i> Prix CANCAM	v
<i>Committees</i> Comités	viii
<i>Reviewers</i> La Comité de Sélection	ix
<i>List of Invited Lecturers</i> Liste des Conférenciers Invités	x
<i>List of Papers</i> Liste de Communications	xiii
<i>General Lectures and Abstracts</i> Conférences Générales et Résumés	
	Vol I 1 - 462
	Vol II 469 - 1046
<i>Index of Authors</i> Index des Auteurs	
	Vol I 463 - 467
	Vol II 1047 - 1051

CONGRESS COMMITTEE**COMITE DU CONGRES**

J. P. Duncan, (*Chairman*)
M. D. Olson, (*Vice-Chairman*)
E. G. Hauptmann
C. R. Hazell
R. W. Lardner (SFU)
V. J. Modi
M. Shinbrot (UVic)
T. E. Siddon

SUB-COMMITTEES**SOUS-COMITES****TECHNICAL PROGRAM
PROGRAMME TECHNIQUE**

C. A. Brockley
D. W. McAdam
A. K. Misra
V. J. Modi, (*Chairman*)
G. V. Parkinson
J. C. Van der Ha

**PRINTING & PUBLICITY
IMPRIMERIE & PUBLICITE**

I. S. Gartshore
C. R. Hazell, (*Chairman*)
N. D. Nathan

**LOCAL ARRANGEMENTS
PROGRAMME SOCIALE**

N. Eley
T. E. Siddon, (*Chairman*)
G. W. Vickers

**CONGRESS SECRETARY
SECRETAIRE OFFICIELLE**

Miss Penny Bush

**PAPERS REVIEW COMMITTEE (University of Alberta)
COMITE DE REVISION DES COMMUNICATIONS TECHNIQUES**

J. R. Colbourne, (*Chairman*)
A. Craggs
J. D. Dale
M. G. Faulkner
G. Ford
J. S. Kennedy
D. J. Marsden
R. Miller
D. W. Murray

FINANCE**FINANCE**

D. L. Anderson
E. G. Hauptmann, (*Chairman*)
H. Ramsey

LADIES PROGRAM**PROGRAMME DES DAMES**

Mrs. J. Duncan
Mrs. P. Hazell
Mrs. M. Parkinson
Mrs. P. Siddon, (*Chairwoman*)
Mrs. S. Vickers

REVIEWS — LES CRITIQUES

D. L. Allen	K.A. Eikrem	J.M. Kelly	N.D. Nathan	F. Stenger
R.R. Allen	Z. Eisenstein	J.S. Kennedy	W.R. Newcombe	C.K.A. Stieda
D.L. Anderson	J.D. Embury	C.N. Kerr	P.S. Nicholson	M.E. Stoneham
D.G. Andrews	J. Emery	R.J. Kind	P.N. Nikiforuk	C.C. St. Pierre
G.C. Andrews	M. Epstein	M.S. King	H. North	D. Surry
D.R. Axelrad	N. Epstein	R. Knystautas	K.H. Norwich	R.K. Swartman
K. Aziz	G. Faulkner	J. de Krasinski	D. Olesky	B. Tabarrok
S. Banerjee	W.D. Liam Finn	R.L. Kuhlemeyer	M.D. Olson	R.J. Tait
C.N. Baronet	J. Foort	G.L. Kulak	P.H. Oosthuizen	J.W. Tanney
A. Bazergui	G. Ford	E.F. Kurtz	G. Ostiguy	D.M.R. Tapplin
D.G. Bellow	J.M. Forde	A. Laneville	M.P. Paidoussis	R.J. Templin
J.G. Beliveau	F.D. Friedrich	W.J. Langford	G. Parker	R. Tennyson
S. Beltaos	N. Galanis	P. Leblond	G.V. Parkinson	R. Tinawi
R.G. Bentsen	B.R. Gambie	J. H. Lee	D.C.T. Pei	J. Tinkler
F.G. Bercha	I. Gartshore	Y. Lee	J.A. Peterka	S. Tom
R.W. Besant	R. Gerard	H. Leipholz	C.H. Popelaf	T.H. Topper
E. Bilgen	A. Ghali	W.C. Lennox	N. Popplewell	L. Torfason
A. Biron	R.R. Gilpin	H. J. Leutheusser	J.R. Pounder	L.P. Trudeau
G.W. Bluman	P. Glockner	M. Levinson	J. Provan	W.K. Tso
D. Bogy	J. Godin	Sui Lin	M. Quick	S.Y. Tuann
W.J. Bratina	L.E. Goodrich	N.C. Lind	N. Rajaratnam	W.R. Tyson
C.A. Brockley	P.L. Gould	G.M. Lindberg	H. Ramsey	P.R. Ukrainetz
T.A. Brzustowski	R. Green	S. L. Lipson	K.B. Ranger	J.M. Varah
K.V. Bury	D.E. Grierson	J. Longworth	R.G. Redwood	E. Varoglu
S. Cabay	D.C. Groeneveld	V.J. Lunardini	R.A. Restrepo	H. Vaughan
T.W. Calvert	K.D. Hage	J.G. MacGregor	H.S. Ribner	J.E.S. Venart
R.G. Campanella	J.B. Haddow	B. Madsen	W.B. Rice	G.W. Vickers
G. Cantin	I. Hague	A. Malhotra	V.R. Riley	F.H. Vitovec
Y.Y. Chan	E.B. Hawbolt	D. Mangeron	C.M. Rodkiewicz	T.C. Vu
R.E. Chant	C.R. Hazell	P. Mandl	J. Roorda	F.Y.M. Wan
K.C. Cheng	A.C. Heidebrecht	D.J. Marsden	V. Rousselet	C.A. Ward
S.C. Cheng	D.H. Henshaw	C. Marsh	A. Rudin	D.S. Weaver
J.M. Chudobiak	P.G. Hill	G.F. Marsters	J.T. Ryan	D.R. Westbrook
F.H. Clarke	M. Hillier	W.W. Martin	S. Sankar	K.T. Whitby
M.Z. Cohn	T.W. Hoffman	J. Masliyah	H.I.H. Saravanamutto	J.D. Whittaker
J.R. Colbourne	K.G.T. Hollands	D.W. McAdam	W.F. Schmidt	R. Wickens
G.R. Cowper	R.F. Hooley	J.A. McCorquodale	H.L. Schreyer	D.J. Wilson
R.G. Cox	J.A. Hopps	G.M. McNeice	F.W. Schwartz	C.D. Williams
A. Craggs	T.M. Hrudey	R.N. Meroney	C.J. Scott	H.K. Wolf
D.M. Cruden	T.R. Hsu	W.I. Midvidy	D.S. Scott	L.C. Woods
J.D. Dale	P.C. Hughes	E.C. Mikulcik	D. Seborg	Z.A. Zielinski
A.G. Davenport	T.E. Hull	J.H. Milsum	P. Sekelj	W. Zingg
B.E.L. Deckker	M. Iqbal	S. Mindess	A.P.S. Selvadurai	
R.S. Dhaliwal	B.M. Irons	A. Mioduchowski	F.A. Seyer	
P. Doak	M. Isaacson	M.S. Mirza	B.R. Seymour	
A.G. Doige	N. Isyumov	A.K. Misra	J.N. Siddall	
M.A. Dokainish	D.F. James	R.M. Miura	T.E. Siddon	
R. Doré	E. Jensen	V.J. Modi	S.H. Simmonds	
G. Drouin	K.C. Johns	G.R. Monforton	L.A. Simpson	
R.N. Dubey	G.R. Johnson	B. Moodie	G.E. Sims	
G. Duff	J. Jones	M. Mortell	M.C. Singh	
J.L. Duncan	R.L. Judd	H. Mozaffari	J.W. Smith	
J.P. Duncan	R. Kahawita	D.B. Muggeridge	P.R. Smy	
D.W. Dunn	J.W. Kamphuis	D.W. Murray	D.S. Sodhi	
J.A. Dunsby	T.R. Kane	L.A. Mysak	R.A. Spencer	
R. Dutton	G.A. Karim	W.R. Nader	J.C. Sprague	

LIST OF INVITED LECTURERS — LISTE DES CONFERENCES INVITEES

V. V. Bolotin <i>Stablization and Destabilization Effects in Mechanics of Deformable Systems</i>	1
P. W. Likins <i>The Influence on Dynamics and Control Theory of the Spacecraft Attitude Control Problem</i>	321
J. E. Fflowcs Williams <i>The Theoretical Modelling of Aerodynamic Noise</i>	469
A. G. Davenport <i>Wind Engineering - Ancient and Modern: The Relationship of Wind Engineering Research to Design</i>	487
R. Narasimha <i>The Three Archetypes of Relaminarization</i>	503
F. Trombe <i>La Climatisation Naturelle de l'Habitat</i>	799
A. M. Shapiro <i>Physiological and Medical Aspects of Flow in Collapsible Tubes</i>	883
G. Whitham <i>Topics in Non-Linear Wave Theory</i>	935

VOLUME I

	page
<i>Solid Mechanics</i> La Mécanique des Solides	1 - 320
<i>Dynamics</i> Dynamiques	321 - 462

VOLUME II

<i>Fluid Mechanics</i> La Mécanique des Fluides	469 - 798
<i>Thermodynamics and Heat Transfer</i> Thermodynamique et Transfert de Chaleur	799 - 882
<i>Biomechanics</i> Biomécanique	883 - 934
<i>Applied Mathematics and Computer Techniques</i> Mathématiques Appliquées et Méthodes Analogiques et Digitales	935 - 1046

LIST OF PAPERS

SOLID MECHANICS — MECANIQUE DES SOLIDES

	<i>Page</i>
<i>Invited Lecture — Conférence Invitée</i> <i>Stabilization and Destabilization Effects in Mechanics of Deformable Systems</i> V. V. Bolotin	1
 ELASTICITY — ELASTICITE	
On Thermoelastic Dielectrics <i>P. G. Glockner, K. L. Chowdhury</i>	11
Extension of Signorini's Perturbation Scheme in Finite Elasticity <i>S. Bharatha, M. Levinson</i>	13
On Existence and Uniqueness of Solution for a Non-Classical Problem <i>G. Dasgupta, J. L. Sackman, J. M. Kelly</i>	15
State Space Approach to Thermoelasticity <i>L. Y. Bahar, R. B. Hetnarski</i>	17
✓ Two and One-Dimensional Approximations of Some Special Elastic Problems <i>A. Cardon</i>	19
✓ Axisymmetric Stresses in Transversely Isotropic Finite Cylinders <i>C.P. Vendhan, R. R. Archer</i>	21
Some Singular Elastostatic Solutions for Bimaterial Semi-Infinite Strip Composites <i>G. G. Adams, D. B. Bogy</i>	23
Axisymmetric Interaction of a Thick Plate and an Internally Loaded Elastic Halfspace <i>A. P. S. Selvadurai, J. Adjeleian</i>	25
Analysis of a Half Plane Containing Localized Transformation Strains and Its Application to Contact and Indentation Problem <i>Y. P. Chiu</i>	27
On Field-Matter Interaction in Polarizable and Magnetizable Materials <i>A. A. F. Van de Ven, K. Hutter</i>	29
✓ Plates on Elastic Foundation Considering Friction and the Real Contact Area <i>K. H. Laermann</i>	31
The Problem of Hollow Spheres with Edges and the Deduction of Shell Equations <i>S. Cheng, T. Angsirikul</i>	33
✓ Axisymmetric Thermal Stress in a Thin Spherical Shell <i>H. E. Williams</i>	35
Maximum Principles and Pointwise Error Estimates for Torsion of Shells of Revolution <i>C. O. Horgan, L. T. Wheeler</i>	37
	xiii

VISCOELASTICITY — VISCOELASTICITE

	<i>Page</i>
Error Control in Viscoelastic Stress Analysis W. C. Carpenter	39
On the Axisymmetric Inflation of Nonlinear Viscoelastic Membranes A. S. Wineman	41
Traveling Loads on Viscoelastic Plates on Nonlinear Dissipative Foundations J. Padovan	43
Enhancing Structural Serviceability by Using Constrained Viscoelastic Layers A. Farah, I. M. Ibrahim	45
Development of Nonlinear Constitutive Equations for Environment Sensitive Materials W. L. Hufferd	47
Détermination de Comportements Rhéologiques à Haute Température M. Merle, C. Truchasson	49
Analysis of Heated Concrete Structures for Creep and Temperature G. L. England	51
Viscoelastic Stress Analysis for Cracked Bodies G. A. C. Graham	53

PLASTICITY — PLASTICITE

Shear-Enhanced Compaction in Porous Materials J. H. Curran, M. M. Carroll	55
Developments in Concrete Constitutive Relations W. F. Chen, T. Y. Chang	57
Limit Analysis of Reinforced Concrete Arch Bridges P. Ronca, M. Z. Cohn	59
Ultimate Loads of Reinforced Concrete Curved Beams H. E. I. Badawy, I. J. Jordaan, A. E. McMullen	61
Limit Analysis of Ice Arching Across Amundson Gulf D. S. Sodhi, M. Arockiasamy	63
On the Scale Effect in Ice Mechanics F. G. Bercha	65
The Accuracy of Slip-Line Field Solutions R. G. Fenton, G. N. Lee	67
Large Non-Isothermic Deformations of Elastic-Plastic and Elastic-Viscoplastic Bodies Th. Lehmann	69
Localized Necking in Biaxially Stretched Circular Plates A. Needleman, V. Tvergaard	71

	<i>Page</i>
Elasto-Plastic Analysis of Trusses <i>J. Karczewski</i>	73
Analytical Model for the Creep of Anisotropic Tubes Subjected to Internal Pressure and Axial Load <i>F. J. Kuja, D. McCammond, R. D. Venter</i>	75
The Plastic Behavior of Wire Rope <i>N. Jones, J. C. Christodbulides</i>	77
A Simple Mathematical Theory of Finite Distortional Latent Hardening In Single Crystals <i>K. S. Havner, A. H. Shalaby</i>	79
On Uniqueness Criteria and Minimum Principles for Crystalline Solids at Finite Strain <i>K. S. Havner</i>	81
Uniqueness of Solution in Rigid-Plastic Analysis and Design <i>A. Franchi, M. Z. Cohn</i>	83
Discussion and Application of Incremental Theory of Plasticity <i>R. N. Dubey</i>	85
Elasto-Plastic Coupling within Thermodynamics <i>Y. F. Dafalias</i>	87
A Random Walk Model of Creep <i>C. S. Brahma</i>	89
Effect of Cyclic Loading on the Yield Surface <i>F. Ellyin, K. W. Neale</i>	91
 COMPOSITE MATERIAL MECHANICS — MECANIQUE DES MATERIAUX COMPOSITES	
Transverse Shear Deformation and Strain Energy in Laminated Composite Material Beams <i>A. K. Miller, D. F. Adams, W. A. Mentock</i>	93
Reflection Coefficient For a Laminar Plate Composite <i>H. J. Sutherland, A. Bedford</i>	95
Some Experimental Stresses Around Holes in a Composite <i>D. J. Malcolm</i>	97
Thermal Stresses in Metal-Faced Sandwich Panels <i>C. Marsh, M. Nakhla</i>	99
Torsion of a Square Bar Reinforced by Circular Cylinders <i>J. P. Zarling</i>	101
A Microstructure Continuum Theory for Laminated Composites <i>M. L. Soni, E. B. Becker, M. Stern</i>	103
Strain and Failure Analysis of Graphite/Epoxy Plates with Holes <i>I. M. Daniel</i>	105
	xv