

liquides aux interfaces

Les Houches 1988



Session XLVIII

liquids at interfaces

J. Charvolin
J. F. Joanny
and J. Zinn-Justin
Editors

North-Holland

USMG

NATO ASI

LES HOUCHES

SESSION XLVIII

30 Mai–24 Juin 1988

LIQUIDES AUX INTERFACES

LIQUIDS AT INTERFACES

édité par

J. CHARVOLIN, J.F. JOANNY *et* J. ZINN-JUSTIN

1990

NORTH-HOLLAND

AMSTERDAM · OXFORD · NEW YORK · TOKYO

© Elsevier Science Publishers B.V., 1990

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the written permission of the Publisher, Elsevier Science Publishers B.V., P.O. Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands.

Special regulations for readers in the U.S.A.: This publication has been registered with the Copyright Clearance Center Inc. (CCC), Salem, Massachusetts. Information can be obtained from the CCC about conditions under which photocopies of parts of this publication may be made in the U.S.A. All other copyright questions, including photocopying outside the U.S.A., should be referred to the Publisher, unless otherwise specified.

No responsibility is assumed by the Publisher for any injury and/or damage to persons or property as a matter of products liability, negligence or otherwise, or from any use or operation of any methods, products, instructions or ideas contained in the material herein.

ISBN: 0 444 88450 5

Published by:

North-Holland

Elsevier Science Publishers B.V.

P.O. Box 211

1000 AE Amsterdam

The Netherlands

Sole distributors for the U.S.A. and Canada:

Elsevier Science Publishing Company, Inc.

655 Avenue of the Americas

New York, NY 10010

U.S.A.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Ecole d'été de physique théorique (Les Houches, Haute-Savoie, France)
(48th : 1988)

Liquides aux interfaces = Liquids at interfaces / édité par J.
Charvolin, J.F. Joanny et J. Zinn-Justin.

p. cm.

English and French.

At head of title: USMG, NATO ASI, Les Houches, session XLVIII, 30
mai-24 juin 1988.

Includes bibliographical references.

ISBN 0-444-88450-5

1. Solids--Surfaces--Congresses. 2. Liquids--Surfaces--
Congresses. 3. Surface chemistry--Congresses. I. Charvolin, J.
II. Joanny, J. F. III. Zinn-Justin, Jean. IV. Title. V. Title:
Liquids at interfaces.

QC176.B.S8E26 1988

530.4'27--dc20

90-39463

CIP

Printed in the Netherlands

USMG NATO ASI

LES HOUCHES

Session XLVIII

1988

LIQUIDES AUX INTERFACES

LIQUIDS AT INTERFACES

CONFÉRENCIERS

P. ATTARD
D. BEYSENS
A.M. CAZABAT
J. CHARVOLIN
R. EVANS
P.G. DE GENNES
W. HELFRICH
J. KLEIN
A. LIBCHABER
S. MARČELJA
J. MEUNIER
P. PELCE
S. SARMAN
M. SCHICK

**LES HOUCHES
ÉCOLE D'ÉTÉ DE PHYSIQUE THÉORIQUE**

ORGANISME D'INTÉRÊT COMMUN DE
L'UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER DE GRENOBLE ET DE
L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE
AIDÉ PAR
LE COMMISARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Membres du conseil: M. Nemoz, président, P. Averbuch, R. Balian,
N. Boccara, C. DeWitt, J.P. Hansen, S. Haroche, M. Jacob, J.L. Lacoume,
J.P. Laheurte, G. Lespinard, R. Maynard, A. Neveu, A. Omont, Y. Rocard,
R. Romestain, R. Stora, D. Thoulouze, N. Vinh Mau, G. Weill

Directeur: J. Zinn-Justin

SESSION XLVIII
INSTITUT D'ÉTUDES AVANCÉES DE L'OTAN
NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE

30 Mai–24 Juin 1988

Directeurs scientifiques de la session: J. Charvolin et J.F. Joanny

SESSIONS PRÉCÉDENTES

I	1951	Mécanique quantique. Théorie quantique des champs
II	1952	Quantum mechanics. Mécanique statistique. Physique nucléaire
III	1953	Quantum mechanics. Etat solide. Mécanique statistique. Elementary particles
IV	1954	Mécanique quantique. Théorie des collisions; two-nucleon interaction. Electrodynamique quantique
V	1955	Quantum mechanics. Non-equilibrium phenomena. Réactions nucléaires. Interaction of a nucleus with atomic and molecular fields
VI	1956	Quantum perturbation theory. Low temperature physics. Quantum theory of solids; dislocations and plastic properties. Magnetism; ferromagnetism
VII	1957	Théorie de la diffusion; recent developments in field theory. Interaction nucléaire; interactions fortes. Electrons de haute énergie. Experiments in high energy nuclear physics
VIII	1958	Le problème à N corps (Dunod, Wiley, Methuen)
IX	1959	La théorie des gaz neutres et ionisés (Hermann, Wiley)*
X	1960	Relations de dispersion et particules élémentaires (Hermann, Wiley)*
XI	1961	La physique des basses températures. Low-temperature physics (Gordon and Breach, Presses Universitaires)*
XII	1962	Géophysique extérieure. Geophysics: the earth's environment (Gordon and Breach)*
XIII	1963	Relativité, groupes et topologie. Relativity, groups and topology (Gordon and Breach)*
XIV	1964	Optique et électronique quantiques. Quantum optics and electronics (Gordon and Breach)*
XV	1965	Physique des hautes énergies. High energy physics (Gordon and Breach)*
XVI	1966	Hautes énergies en astrophysique. High energy astrophysics (Gordon and Breach)*
XVII	1967	Problème à N corps. Many-body physics (Gordon and Breach)*
XVIII	1968	Physique nucléaire. Nuclear physics (Gordon and Breach)*
XIX	1969	Aspects physiques de quelques problèmes biologiques. Physical problems in biology (Gordon and Breach)*
XX	1970	Mécanique statistique et théorie quantique des champs. Statistical mechanics and quantum field theory (Gordon and Breach)*
XXI	1971	Physique des particules. Particle physics (Gordon and Breach)*
XXII	1972	Physique des plasmas. Plasma physics (Gordon and Breach)*
XXIII	1972	Les astres occlus. Black holes (Gordon and Breach)*
XXIV	1973	Dynamique des fluides. Fluid dynamics (Gordon and Breach)*
XXV	1973	Fluides moléculaires. Molecular fluids (Gordon and Breach)*
XXVI	1974	Physique atomique et moléculaire et matière interstellaire. Atomic and molecular physics and the interstellar matter (North-Holland)*
June Inst.	1975	Structural analysis of collision amplitudes (North-Holland)
XXVII	1975	Aux frontières de la spectroscopie laser. Frontiers in laser spectroscopy (North-Holland)*

XXVIII	1975	Méthodes en théorie des champs. Methods in field theory (North-Holland)*
XXIX	1976	Interactions électromagnétiques et faibles à haute énergie. Weak and electromagnetic interactions at high energy (North-Holland)*
XXX	1977	Ions lourds et mésons en physique nucléaire. Nuclear physics with mesons and heavy ions (North-Holland)*
XXXI	1978	La matière mal condensée. Ill-condensed matter (North-Holland)*
XXXII	1979	Cosmologie physique. Physical cosmology (North-Holland)*
XXXIII	1979	Membranes et communication intercellulaire. Membranes and inter-cellular communication (North-Holland)*
XXXIV	1980	Interaction laser-plasma. Laser-plasma interaction (North-Holland)
XXXV	1980	Physique des défauts. Physics of defects (North-Holland)*
XXXVI	1981	Comportement chaotique des systèmes déterministes. Chaotic behaviour of deterministic systems (North-Holland)*
XXXVII	1981	Théories de jauge en physique des hautes énergies. Gauge theories in high energy physics (North-Holland)*
XXXVIII	1982	Tendances actuelles en physique atomique. New trends in atomic physics (North-Holland)*
XXXIX	1982	Développements récents en théorie des champs et mécanique statistique. Recent advances in field theory and statistical mechanics (North-Holland)*
XL	1983	Relativité, groupes et topologie II. Relativity, groups and topology II (North-Holland)*
XLI	1983	Naissance et enfance des étoiles. Birth and infancy of stars (North-Holland)*
XLII	1984	Aspects cellulaires et moléculaires de la biologie du développement. Cellular and molecular aspects of developmental biology (North-Holland)*
XLIII	1984	Phénomènes critiques, systèmes aléatoires, théories de jauge. Critical phenomena, random systems, gauge theories (North-Holland)*
XLIV	1985	Architecture des interactions fondamentales à courte distance. Architecture of fundamental interactions at short distances (North-Holland)*
XLV	1985	Traitement du signal. Signal processing (North-Holland)*
XLVI	1986	Le hasard et la matière. Chance and matter (North-Holland)*
XLVII	1987	Dynamique des fluides astrophysiques. Astrophysical fluid dynamics (to be published)*
XLIX	1988	Champs, cordes et phénomènes critiques. Fields, strings and critical phenomena (North-Holland)*
<i>En préparation</i>		
L	1988	Tomographie océanographique et géophysique. Oceanographic and geophysical tomography. (North-Holland)

*Sessions ayant reçu l'appui du Comité Scientifique de l'OTAN

LECTURERS

D. BEYSSENS, Dph/PSRM CEN Saclay, 91191 Gif-Sur-Yvette Cedex, France.

C. CAROLI, Gr. Phys. des Solides, E.N.S. Univ. Paris VII Tour 23, 2 Pl. Jussieu 75221 Paris Cedex 05, France

A.M. CAZABAT, Phys. de la Matière Condens. Collège de France, 11 Pl. Marcelin Berthelot, 75231 Paris Cedex 05, France.

J. CHARVOLIN, Physique des Solides, Bât. 510 Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay, France.

P.G. DE GENNES, Physique de la Mat. Cond. Collège de France, 11 Pl. M. Bethelot, 75231 Paris Cedex 05, France.

G. DURAND, Phys. des Solides, Bâtiment 510, Univ. Paris Sud 91405 Orsay Cedex, France.

R. EVANS, H.H. Wills Labs Univ. of Bristol, Royal Fort-Tyndall Av., Bristol B58 1TL, UK.

J.-P. HANSEN, Dept. de Physique E.N.S., 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France.

W. HELFRICH, Fachbereich freie Univ. Berlin, Arnimallee 14 D-1000 Berlin 33, RFA.

J.G.H. JOOSTEN, DSM Research, PO BOX 18, 6160 MD Geleen, The Netherlands.

J. KLEIN, Dept. Polymer Research, The Weizmann Inst. of Science, Rehovot, Israël.

J.P. LAHEURTE, Phys. Matière Condensée, Univ. de Nice, Parc Valrose 06034 Nice Cedex, France.

R. LENORMAND, Dowell Schlumberger ZI Molina Chazotte, BP 90, 42003 St. Etienne, France.

- A. LIBCHABER*, J. Franck Inst., Univ. of Chicago, 5640 Ellis Ave., Chicago II 60637, USA.
- M. LÖSCHE*, Inst. für Phys. Chemie, Johannes Gutenberg Univ., Welder Weg 15, D-6500 Mainz, RFA.
- S. MARČELJA*, Dept. Applied Maths. Research School of Phys. Scie., Australian National Univ., PO BOX 4 Canberra ACT 2600, Australia.
- D. MAUGIS*, Equipe Mecan. des Surfaces du CNRS LCPC, 58 Bd. Lefebvre, 75732 Paris Cedex 05, France.
- J. MEUNIER*, Lab. Spectroscopie Hertz E.N.S., 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.
- P. PELCE*, Dept. of Combustion Centre St Jerome, Univ. de Provence, 13397 Marseille 13, France.
- M. SCHICK*, Dept. of Physics FM-15, Univ. of Washington, Seattle WA 98195, USA.
- J. SUZANNE*, Dept. de Phys. Fac. Sciences Luminy Case 901, Univ. Aix-Marseille II, 70 rte L. Lachampt, 13288 Marseille Cedex 9, France.
- Y. TALMON*, Dept. Chemical Engineer., Technion, Haifa, Israël.

PARTICIPANTS

- Adler, Uta*, Sek. Phys. Lehrstuhl Prof., Peisl Univ. München, Geschwister-Scholl Platz 1, D-8000 München 22, RFA.
- Anderson, David*, Physical Chemistry 1, Chemical Center, Univ. of Lund P.O. Box 124, S-22100 Lund, Sweden.
- Attard, Phil*, Dept. Applied Maths., Res. School of Phys. Sc., Australian Nat. Univ., Canberra ACT 2601, Australia.
- Bassereau, Patricia*, G.D.P.C.-U.S.T.L., Pl. E. Bataillon, 34060 Montpellier, France.
- Bergegol, Hervé*, Groupe de Phys. Stat., Lab. de Phys. de l'Ecole Nor. S., 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France.
- Berge, Bruno*, Lab. de Spectro. Phys., Univ. J. Fourier, BP 87, 38402 St. Martin d'Hères, France.
- Biebuyck, Hans*, Chemistry Dept. Harvard Univ., 12 Oxford St Cambridge, Cambridge MA 02138, USA.
- Blokhuis, Edgar*, Afdeling Fys. en Macromol. Chem., Gorlaeus Lab., Einsteinweg 5, 2300 RA Leiden, The Netherlands.
- Canessa, Enrico*, Univ. of East Anglia School of Math. and Physics, Norwich NR4 7TJ, UK.
- Chu, Xiaolin*, Dep. Fisica Fundamental, UNED Apdo 60141, 28071 Madrid, Spain.
- Ciach, Alina*, Univ. Gesamthochschule Essen, Fachbereich 7 (Physik), 4300 Essen, West Germany.
- Constantinides, Georges*, Inst. Chem. Engin & High Tem., PO Box 1239, GR-26110 Patras, Greece.
- Di Francesco, Mark*, Univ. Pittsburgh, Dept. Phys. & Astronomy, Pittsburgh RA 5260, USA.
- Douady, Stéphane*, E.N.S.L., 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France.
- Durian, Douglas*, A-10 Clark Hall, Cornell University, Ithaca NY 14853, USA.
- Fermigier, Marc*, Lab. HMP ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France.
- Franck, Carl*, Physics Dept. Clark Hall, Cornell University, Ithaca NY 14853, USA.

- Gurfein, Véronique*, Ser. de Phys. du Solide, Orme des Merisiers, CEN Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France.
- Hadjiagapiou, Ioannis*, Lab. of Mechan. Dept. of Phys., Univ. of Athens, Panepistimiopolis, GR 15771 Zografos Athens, Greece.
- Harden, James*, Materials Dept. College of Eng., University of California, Santa Barbara CA 93106, USA.
- Hernandez Machado, Aurora*, Dept. ECM, Fac. de Fys. de Barcelona, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain.
- Jerome, Blandine*, Lab. de Phys. des Solides, Bat 510 Univ. de Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France.
- Ji Hong*, Material dept., Univ. of California, Santa Barbara CA 93106, USA.
- Langie, Greet*, KU Leuven Labo voor molek., Celestijnenlaan 200, D B-3030 Leuven, Belgium.
- Leermakers, Frans*, Phys. & colloid chem., Univ. of Agriculture, De Dreijen 6, The Netherlands.
- Leitao, Henrique*, C.F.M.C., Av prof. Gama Pinto 2, 1699 Lisboa Codex, Portugal.
- Levine, Dov*, Inst. for Theor. Phys., Univ. of California, Santa Barbara CA 93106, USA.
- Loubet, Jean-Luc*, Lab. de techn. des Surfaces, Ecole Centrale de Lyon, B.P. 163, 69131 Ecully Cedex 01, France.
- Luzar, Alenka*, Medical Fac. univ., E. Lardevs, Ljubljana, Yugoslavia.
- Moro Carreno*, Dept. de Matemat. Apl., Facultad de CC., Univ. Complutense de Madrid, Spain.
- Murat, Michael*, Exxon Research and Engin. Co, Route 22 East, Annandale NJ 08801, USA.
- Nijmeijer, Marco*, Lab. voor Tech. Natuurk., Tech. Univ. Delft, Lorentzweg 1, 2600 GA Delft, The Netherlands.
- Nikas, Yvonne*, Dept. of Phys., Ohio State University, Columbus OH 43210, USA.
- Nolden, Irmgard*, Inst. Theo. Fysica, Rijksuniversiteit Utrecht, PB 80000 6 NL, 3508 TA Utrecht, The Netherlands.
- Parry, Andrew Owen*, HH Willo Physics lab., Tyndall Avenue, Bristol, England.
- Poniewierski, Andrzej*, Inst. of Phys. Chem., Polish Ac. of Sciences, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa, Poland.
- Privat, Mireille*, LA330 Route de Mende, B.P. 5051, 34033 Montpellier Cedex, France.

- Quere, David*, Phys. de la Matière Cond., Collège de France, 11 pl M. Berthelot, 75231 Paris Cedex 05, France.
- Redon, Claude*, Lab. de Struc. et réac. aux in., Bat de Chimie Phys., 11 rue P. et M. Curie, 75005 Paris, France.
- Ripple, Dean*, A10 Clark Hall, Cornell University, Ithaca NY 14853, USA.
- Rodriguez, Anibal*, Dept. Matemat. Apl., Fac. de Mat. Ciudad Univ., Madrid 28040, Madrid, Spain.
- Salome, Laurence*, C. de Rech. P. Pascal, Domaine Universitaire, 33405 Talence Cedex, France.
- Sarman, Sten*, Dept. of Phys. Chem., Royal Institute of Technology, S-100 44 Stockholm, Sweden.
- Skurtveit, Roald*, Kjemisk Int. Univ. i. Bergen, Alle GT 41, N-5007 Bergen, Norvege.
- Sluckin, Timothy*, Dept. of Maths., Univ. of Southampton, 509 5WH, UK.
- Smit, Berend*, Koninklijke/Shell Lab., Amsterdam PO Box 3003, 1003 AA Amsterdam, The Netherlands.
- Sokolic, Franjo*, Ruder Boskovic Inst., POB 1016, 41001 Zagreb, Yugoslavia.
- Stavans, Joel*, Dept. di Electronica, Universita di Pavia, via Abbiategrasso 209, Pavia 27100, Italie.
- Toulhoat, Hervé*, Inst. Franç. du Pétrole, 1, 4 av. de Bois Preau BP. 311, 92506 Reuil Malmaison Cedex, France.
- Troian, Sandra*, Exxon Res. & Eng. Co., Clinton Township, Route 22E Annandale, New Jersey 08801, USA.
- Vizika, Olga*, Inst. of Chem. Eng. & High Temp. chem. processes, PO Box 1239, GR-26110 Patras, Greece.
- Bordier, Gilles*, Résidence la Vallée, 182 rue d'Aulnay, 92350 Le Plessis Robinson, France.



LECTURES BY PARTICIPANTS

- Neutron and X-ray reflections at liquid–gas interfaces, *by U. Adler.*
- Bicontinuous structures in amphiphilic systems, *by D. Anderson.*
- Swollen lamellar phases, *by P. Bassereau.*
- Variational theory for phase diagrams of sterically stable colloidal dispersions, *by E. Canessa.*
- Sustained transverse and longitudinal waves on liquids interfaces, *by X. Chu.*
- Faraday instability, *by S. Douady.*
- Capillary rise experiments, *by D. Durian.*
- Instabilities of ferrofluid layers, *by M. Fermigier.*
- Regular and noisy features in Saffman–Taylor flow, *by M. Di Francesco.*
- Wetting controlled by fluid motion, *by C. Franck.*
- Liquid crystal on a solid substrate, *by B. Jerome.*
- Statistical mechanics of association colloids, *by F. Leermakers.*
- Another apparatus to measure surface forces, *by J.-L. Loubet.*
- Simulation of wetting, pre-wetting and contact, *by M. Nijmeijer.*
- Wetting of fibers, *by D. Quere.*
- Double layer forces and near critical binary liquid mixtures, *by D. Ripple.*
- A model for microemulsions, *by M. Schick.*
- Smectic wetting and layering, *by T. Sluckin.*
- Molecular dynamics of liquid–liquid amphiphilic systems, *by B. Smit.*
- Soap bubbles, *by J. Stavans.*
- Some industrial problems, *by H. Toulhoat.*
- Surfactant induced instability in wetting, *by S. Troian.*

PRÉFACE

Jusqu'à une date récente les comportements des liquides au voisinage des surfaces constituaient un domaine classique de la physico-chimie, assez ignoré par les physiciens de la matière condensée. A partir de modèles d'interactions moléculaires assez bien définis, les physico-chimistes avaient su développer les concepts phénoménologiques adéquats et les appliquer très efficacement pour résoudre un grand nombre de problèmes scientifiques et industriels impliquant des liquides simples. Cependant, des difficultés apparurent quand on voulut étendre cette approche au cas de liquides complexes comme les cristaux liquides, les polymères ou les systèmes d'amphiphiles, dans lesquels les comportements collectifs sont importants. Fort heureusement, pendant le même temps, les physiciens de la matière condensée avaient développé des concepts théoriques et des méthodes expérimentales nouveaux pour traiter les phénomènes collectifs en volume et cherchaient à les mettre en oeuvre dans les problèmes de surface. Cette conjonction d'intérêts a été à l'origine de fructueuses collaborations qui ont déterminé la formation d'une nouvelle communauté.

Le but de l'école a été de rassembler des chercheurs de différentes origines, depuis la physico-chimie traditionnelle jusqu'à une physique théorique assez formelle, de leur présenter et de leur faire discuter les aspects fondamentaux des comportements des liquides aux interfaces afin de favoriser le développement d'un langage commun pour cette communauté assez hétérogène. Le domaine est évidemment très vaste, trop vaste et développé à des degrés trop variables suivant le sujet, pour être traité dans sa totalité dans le cadre d'une école. Ceci nous a conduit à faire des choix. Seuls les aspects fondamentaux des interfaces solide/liquide et liquide/liquide, qui sont les plus mûrs, ont été traités pendant les cours; leurs applications ont été décrites et discutées en séminaires; le cas des interfaces gaz/liquide, moins bien compris, a été ignoré.

Six aspects différents ont été présentés en cours, chacun d'eux suivant des points de vues théorique et expérimentaux. Une introduction générale

a été consacrée à la présentation des liquides simples, en mettant l'accent sur les développements récents de la mécanique statistique et des études par diffusion des interfaces (R. Evans). Les forces entre interfaces ont été analysées à la lumière des résultats récents de mesures directes de forces à très courtes distance dans les systèmes colloïdaux qui montrent les limites de la théorie DLVO classique (S. Marčelja, P. Attard, S. Sarman, J. Klein). La physique des interfaces stabilisées par des molécules amphiphiles a été approchée suivant deux directions. L'une a dégagé le rôle des contraintes spatiales dans l'organisation des films fluides symétriques, qui domine le polymorphisme des phases liquides cristallines (J. Charvolin); l'autre a posé les bases de la mécanique des films fluides, nécessaire pour traiter l'énergie des structures et contrôler les fluctuations, en particulier dans les microémulsions (W. Helfrich). Les développements récents concernant les phénomènes hydrodynamiques et les instabilités, digitation, instabilité Mullins-Sekerka et croissance dendritique, ont été couverts (P. Pelcé, A. Libchaber, J. Langer). Les deux derniers sujets ont concerné les cinétiques d'étalement des liquides simples et polymériques et une présentation détaillée de la transition de mouillage (M. Schick, P.G. de Gennes, A.M. Cazabat, J. Meunier, D. Beysens).

Des séminaires invités ont illustré les cours principaux et ont suggéré de nouvelles directions. Les séminaires donnés par les participants ont été très utiles et stimulants, mettant en lumière les difficultés du domaine et démontrant l'enthousiasme des jeunes membres de cette nouvelle communauté.

La session a rassemblé des participants de pays très divers dans une atmosphère très cordiale. La vallée de Chamonix est réputée pour attirer nuages et précipitations, nous avons pu nous en convaincre pendant les deux premières semaines de la session. Mais c'était le nécessaire rite d'introduction pour mériter la gloire du lever de soleil sur les montagnes couverts de neige, à l'aube du premier jour de la troisième semaine. Les vaches d'Abondance, les campanules et ombelles apparurent soudain dans la vallée, les grimpeurs sur les arêtes et un nouveau courage dans le cœur de chacun.

Remerciements

La session XLVIII de l'Ecole d'Été des Houches et la publication de ce volume de notes de cours ont été rendues possibles grâce:

- au soutien financier de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, de la Division Scientifique de l'OTAN, du Commissariat à l'Energie Atomique et de la NSF;