



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Mecanique 332 (2004) 319–322



## Microgravity/La micropesanteur

# Foreword

### Microgravity

Ever since XVIIth century, it has been well known that gravity results from the Earth's attraction and is a particular case of an universal force of attraction. Newton's law specifies that the attracting force between two bodies is proportional to their masses and inversely proportional to distance between them. On the Earth's surface, we obtain by volume integration, the weight of the object under consideration and the resulting effect is called gravity. Pressure stratification of fluid masses under the gravity effect induces the Archimede forces. In general relativity theory, in the non-Euclidian theory of the gravitational field, one is led to apply corrections to the results from Newton's law.

The invention of space vehicles and artificial satellites has opened to human beings new fields of investigation. One can travel inside interplanetary and interstellar spaces and approach heavenly bodies to observe them better, to scrutinize our planet, to install telecommunications and observation satellites around the earth. Scientific instrumentation has been enriched with these new techniques. This is not without consequences for the Sciences of the Universe and for Physics. However, a particular result of this invention has been the new availability to scientists of locations without gravity for long periods of time. These gravity-free conditions are indeed realized even inside a space craft. This is a direct result of the basic laws of classical mechanics and of their expression in a reference frame, that of the space dwelling, which moves as in the vacuum, solely under the action of long distance forces of attraction. Indeed, the frame of reference associated with these space craft is, of course, non-Galilean. In principle, the gravity acceleration must be compensated exactly by that of the reference frame.

Indeed, such zero-gravity surroundings were already available earlier, although for small durations, in the near- vicinity of the planetary surface and even on the ground. They are obtainable in a well and a drop tower (for free fall), during an aircraft parabolic flight and with exploration rockets.

If zero-gravity instruments were developed during the last few decades, this certainly did not occur independently of these space technologies. Indeed, one requires a better knowledge of fluid behavior in the absence of gravity for its use in space. But zero-gravity is equally useful for the investigator in Material Sciences who finds interesting opportunities under these conditions. Freedom from gravity provides the fluid mechanician or the physicist with a mean of avoiding buoyancy and its consequences, such as natural convection and density stratification, which affect, in particular, hyper-compressible fluids.

Satellites and terrestrial means do not allow gravity to be completely eliminated, and some residual gravity remains. This is the reason why one speaks of microgravity rather than zero-gravity. This residual acceleration is not uniform in time and space. Hence one speaks of  $g$ -jitters to describe random acceleration variations, which in general hinder the experimenter. The microgravity quality, as well as its duration, are permanent requirements of the scientist working in microgravity.

### Microgravity research

Let us take advantage of this foreword to refer to the national and international context in the matter of research and flight opportunities.

As every body knows, setting up the International Space Station has been performed essentially outside the community of scientists, who have, however, been solicited for proposing experiments. Many of them have used this opportunity. The programs have been delayed for various reasons, but have not been questioned until now.

National agencies play a dominant role in the direction and the financing of research. In France, we have the Centre National d'Études Spatiales (CNES), but the European Space Agency (ESA) plays an increasing role. A CNES workshop on prospective projects takes place periodically (every four years), where research directions and priority themes are defined. Approximately 200 researchers work in the field of "Material Sciences in Microgravity", partially organized in the framework of a Research Group CNES/CNRS. Teams from the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), from some Universities as well as others from the Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) participate in discussions with this group. This division does not escape from the difficulties encountered in the financing of science and the employment of scientists.

### **Context of this topical issue**

The Colloquium "Microgravity and Transfers" of the 16th Congrès Français de Mécanique has mobilized researchers in fluid mechanics who study simple or complex flows from a fundamental or applied point of view, and more or less related to space technology. International specialists were invited to contribute each of the sessions: Critical fluids – Interfaces and phase change, two-phase flow – Combustion, chemical reactivity – Process control. The CFM2003 lectures were have been recorded on a CD-ROM type support.

Our wish to provide a more extensive written record dedicated to the theme of transfers under conditions of microgravity in space, and which presents the state of French knowledge of the mechanical sciences was received favorably and encouraged by colleagues of various disciplines. After due consideration, we decided to implement the publication of two special numbers based on the detailed papers which were submitted. Therefore, we offer the present 'topical issue' of the 'Comptes Rendus de l'Académie des Sciences' and also a special issue of the revue 'Mécanique et Industrie' of the French Association of Mechanics (M & I).

For this Topical issue, only papers dealing with fundamental aspects have been selected. Authors who had not attended the CFM where invited to contribute an article so as to enrich this issue and to emphasize its international character. In view of this last point, publication in English was recommended.

This volume illustrates in particular the enormous potential of fundamental and applied fluid mechanics and physics in space for beneficial applications in science and technology.

## **Avant-propos**

### **La micropesanteur**

Il est établi, depuis le XVII<sup>ème</sup> siècle, que la pesanteur résulte de l'attraction terrestre et est un cas particulier de l'attraction universelle. La loi de Newton indique que la force d'attraction entre deux corps est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Sur terre, par intégration au volume, on obtient le poids de l'objet considéré et l'effet résultant est désigné par le terme de pesanteur. La stratification en pression des masses fluides sous l'effet de la pesanteur induit les forces d'Archimède. En relativité générale, théorie non euclidienne du champ de gravitation, on est conduit à opérer des corrections par rapport à la loi de Newton.

L'invention des vaisseaux spatiaux et des satellites artificiels a ouvert aux êtres humains un nouveaux champ d'investigation. On peut voyager dans l'espace interplanétaire et interstellaire et s'approcher des corps célestes pour

mieux les observer, scruter notre planète, disposer des satellites de télécommunication et d'observation autour de la terre. Les instruments d'investigation scientifique se sont notablement enrichis avec ces nouveaux moyens. Cela n'est pas sans conséquences sur les Sciences de l'Univers et la Physique. Mais un résultat particulier de cette invention fut de mettre à la disposition de scientifiques des lieux sans pesanteur pour de longues durées. Ces conditions d'apesanteur sont en effet réalisées à l'intérieur même des engins spatiaux. C'est un simple résultat des lois fondamentales de la mécanique classique et de leurs expressions dans un référentiel relatif, en l'occurrence celui de l'habitacle spatial, en mouvement comme dans le vide sous l'action des seules forces d'attractions à distance. Le référentiel lié à ces engins est bien entendu non Galiléen. L'accélération de la pesanteur y est, en principe, exactement compensée par celle du référentiel considéré.

En fait, un tel environnement d'apesanteur était déjà réalisable, mais pour de courtes durées, dans le proche voisinage de la surface planétaire et même sur terre. On l'obtient dans les puits et tours d'apesanteur (ou de chute libre), au cours des vols paraboliques d'avions et avec des fusées sondes.

Si les instruments d'apesanteur se sont développés ces dernières décades, ce n'est pas sans rapport avec ces technologies spatiales. On a en effet besoin de mieux connaître le comportement des fluides en l'absence de pesanteur afin de les utiliser dans l'espace. Mais l'apesanteur est très utile également au chercheur du domaine des Sciences de la Matière qui y trouve des opportunités intéressantes. S'affranchir de la pesanteur c'est, pour le mécanicien des fluides ou le physicien, le moyen d'éviter les forces d'Archimède et leurs conséquences telles la convection naturelle, les stratifications en densité auxquelles sont très sensibles, en particulier, les fluides hyper-compressibles.

Satellites et moyens terrestres ne permettent pas d'éliminer totalement la pesanteur, il subsiste une accélération résiduelle. C'est la raison pour laquelle on parle de micropesanteur ou de microgravité plutôt que d'apesanteur. Cette accélération résiduelle n'est pas uniforme dans l'espace aussi bien que dans le temps. Ainsi, on parle de *g-jitters* pour désigner les variations aléatoires d'accélération, qui gênent généralement l'expérimentateur. La qualité de la microgravité ainsi que sa durée sont des exigences permanentes du scientifique opérant en apesanteur.

### La recherche en micropesanteur

Profitons de cette préface pour faire une allusion au contexte national et international en matière de recherche et d'opportunités de vol.

Si, comme chacun sait, la mise en place de la Station Spatiale Internationale s'est faite pour l'essentiel en dehors du monde des scientifiques, ces derniers ont cependant été sollicités pour proposer des expériences et beaucoup ont saisi cette opportunité. Les programmes ont été retardés pour diverses raisons, mais ne sont pas remis en cause à ce jour.

Les agences nationales ont un rôle de premier plan pour l'orientation et le financement des recherches. En France c'est le Centre National d'Études Spatiales (CNES), mais l'Agence Spatiale Européenne (ESA) tend à occuper une place croissante. Un séminaire de prospective organisé par le CNES a lieu périodiquement (tous les quatre ans). Il permet de définir des orientations de recherche et de dégager des thèmes prioritaires. Le domaine des *Sciences de la Matière en Micropesanteur* concerne environ 200 scientifiques, partiellement organisés dans le cadre d'un Groupement de Recherche CNES/CNRS, auquel participent des équipes du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de plusieurs universités et du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Ce secteur n'est pas à l'abri des difficultés rencontrées actuellement dans le domaine du financement et de l'emploi scientifiques.

### Contexte de ce numéro thématique

Le colloque « Microgravité et Transferts » du 16<sup>ème</sup> Congrès Français de mécanique a mobilisé des chercheurs en mécanique des fluides se préoccupant d'écoulement simples ou complexes, fondamentalistes ou plus près des applications, plus ou moins directement liées aux technologies spatiales. Il a été fait appel à des spécialistes internationaux dans chacune des sessions : Fluides critiques – Interfaces et changements de phase, diphasique –

Combustion, réactivité chimique – Contrôle. Les conférences du CFM2003 ont été éditées sur un support de type CD-ROM.

Le souhait de voir éditer une trace écrite plus étendue consacrée à la thématique des transferts en microgravité dans l'espace de la connaissance et du savoir français des sciences mécaniques a été salué et encouragé par les collègues de différentes disciplines. Après réflexion, nous nous sommes ainsi lancés dans l'édition de deux numéros spéciaux sur la base de soumission de papiers étendus. Il s'agit du présent « Dossier Mécanique » des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences et d'un numéro spécial de la revue « Mécanique et Industrie » de l'Association Française de Mécanique (M & I).

Pour ce Dossier, ont été retenus les articles à caractère plus fondamental. Des auteurs n'ayant pas participé au CFM ont été sollicités de manière à enrichir la publication et à en accentuer le caractère international. En rapport avec ce dernier point, l'usage de l'anglais a été recommandé.

Ce volume illustre particulièrement l'énorme potentiel de l'usage fondamental et appliqué de la mécanique et de la physique des fluides dans l'espace pour des applications bénéfiques pour le développement des sciences et technologies.

Roger Prud'homme  
*Laboratoire de modélisation en mécanique (LMM)*  
*UMR 7607*  
*Université Pierre et Marie Curie/CNRS*  
*boîte 162*  
*4, place Jussieu*  
*75252 Paris cedex 05*  
*France*  
*E-mail address: prudhom@ccr.jussieu.fr (R. Prud'homme)*

Mohammed El Ganaoui  
*SPCTS, UMR CNRS 6638*  
*Université de Limoges*  
*123, Albert Thomas*  
*87060 Limoges*  
*France*  
*E-mail address: ganaoui@unilim.fr (M. El Ganaoui)*