



ELSEVIER

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse ScienceDirect)

## Comptes Rendus Physique

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Use of large scale facilities for research in metallurgy

## Foreword

Research in materials science, and more specifically in metallurgy, is at the crossroads of the sciences of physics, chemistry and mechanics. In metallurgy, most of the studied phenomena, e.g. phase transformations, plasticity or fracture, are linked to the distribution of atoms into a microstructure, whose complexity is directly linked to the multi-constituent nature of most useful materials, to the complexity of the processes followed by these materials until their final use, and to the usefulness (in terms of end use properties) of a high density of crystalline defects. One consequence of this complexity of the science of metallurgy is that it relies in a fundamental way on experiments as a guideline to understanding, modelling and optimisation.

In the field of microstructural characterisation, experimental developments in the last couple of decades for metal physics research have emerged in two main complementary directions. One is to study with increasing precision the atomic structure of materials, using numerous atomic resolution tools such as Transmission Electron Microscopy and Atom Probe Tomography. Another is to obtain quantitative and in situ, or even in operando, data on the evolution of the structure, microstructure or meso-structure of materials subjected to realistic processing conditions. This area, once a wishful dream, has been made possible by the continuous improvement of large-scale facilities, whether neutron facilities or synchrotrons. Observing the evolution of materials continuously during the various stages that control their structure and properties has profoundly changed our view of the scientific field. Instead of an understanding confined to the end point of a series of processes, it has opened the door to the understanding of the *path* that leads to an observed microstructure, fracture event, etc. It has triggered a large development of theoretical breakthroughs in the field of the *kinetics* of changes in microstructures and properties of metals, which have been reviewed recently in a special edition of the C. R. Physique devoted to modelling in materials science (vol. 11 (3–4), April–May 2010).

As such, the use of large scale facilities in metallurgy, which is simply a particular case of their use in materials science, can be considered as defining a new paradigm, in the sense of a common view shared by the community of the kinetic path that leads, from a mere chemical composition, to complex materials that exhibit such variety in structure or properties as in quasicrystals, high strength steels for automotive applications, aluminium alloys in airplanes and alloys that can withstand extreme conditions in nuclear power plants.

This special issue will be divided in three parts. The first part will be devoted to structural studies, especially complex materials whose structure can be unravelled by the use of large scale facilities. Such complex materials include quasicrystals and their crystalline approximants (de Boissieu), as well as metallic glasses (Georgarakis et al.).

The second part will be devoted to the study of the microstructure of metals. One article will review specific techniques developing in the field of phase transformations and crystal defects, namely the use of coherent X-ray light (Livet and Sutton). Then the different phenomena involved in microstructure development will be covered: phase transformations, including solidification (Nguyen Thi et al.), precipitation (De Geuser and Deschamps), diffusive transformations (Geandier et al.) and grain or phase growth (Offerman and Sharma), martensitic transformations (Malard et al.), and measurement of crystal defects (Borbely and Ungar). Finally, techniques related to the mesoscopic/macroscopic behaviour of metals will be presented: evaluation of internal stresses (Rolph et al.), study of fatigue (Proudhon et al.) and fracture (Maire et al.).

## Avant-propos

La recherche en science des matériaux, et plus particulièrement en métallurgie, est à la croisée des chemins de la physique, de la chimie et de la mécanique. En métallurgie, la majorité des phénomènes étudiés, comme les transformations de phases, la plasticité ou la rupture, sont reliés à la répartition des atomes en une microstructure. La complexité de telles microstructures est inhérente à la nature multi-constituée de la plupart des matériaux ayant des applications, à la complexité des procédés mis en œuvre pour fabriquer ces matériaux, et plus généralement à l'utilité (en termes de propriétés) pour de tels matériaux de contenir une forte densité de défauts cristallins. Une conséquence de ces degrés de complexité est que la métallurgie dépend fondamentalement des résultats expérimentaux comme guide pour la compréhension des phénomènes, leur modélisation et leur optimisation.

Dans le domaine de la caractérisation des microstructures, les développements expérimentaux des deux dernières décennies en métallurgie ont eu lieu dans deux directions complémentaires principales. L'une est d'étudier avec une précision croissante la structure atomique des matériaux, en utilisant des outils comme la sonde atomique tomographique ou la microscopie électronique à transmission. L'autre est d'obtenir des données quantitatives et in-situ, voire in-operando, de l'évolution de la structure, de la microstructure ou de la méso-structure des matériaux soumis à des conditions réalistes en termes de procédés d'élaboration ou de chargement en service. Ce domaine d'investigation, qui a pu jadis relever de l'utopie, s'est concrétisé par l'amélioration continue des grands instruments, que ce soit des sources de neutrons ou de rayonnement synchrotron. Notre vision de la science des matériaux a été profondément modifiée par le fait d'observer continûment l'évolution des matériaux au cours des différentes étapes qui contrôlent leur structure et leur microstructure. On est passé d'une compréhension limitée à l'aboutissement d'une série d'étapes de procédés, à une compréhension du chemin qui mène à une microstructure, à un chemin de rupture, etc. Ce changement a accompagné ou déclenché une série d'avancées dans le domaine de la modélisation de la cinétique des changements microstructuraux et des propriétés des matériaux, qui ont fait l'objet récemment d'une édition spéciale des *C. R. Physique* (vol. 11 (3–4), avril–mai 2010).

De cette manière, l'utilisation des grands instruments en métallurgie, qui n'est qu'un cas particulier de leur utilisation en science des matériaux, peut être considérée comme définissant un nouveau paradigme, dans le sens d'une vision commune partagée par une communauté scientifique, du chemin cinétique menant d'une simple composition chimique à des matériaux complexes qui possèdent une variété de structures et de propriétés telle que rencontrée dans les quasicristaux, les aciers à haute performance pour l'automobile, les alliages d'aluminium pour l'aéronautique ou des alliages pouvant supporter des conditions extrêmes dans des réacteurs nucléaires.

Ce volume sera séparé en trois parties. La première concerne les études structurales, particulièrement dans les matériaux complexes dont la structure peut être élucidée par l'utilisation des grands instruments. Ces matériaux complexes incluent les quasicristaux et leurs approximants (de Boissieu) ainsi que les verres métalliques (Georgarakis et al.).

La deuxième partie est consacrée aux études microstructurales. Un premier article fera le point sur les techniques spécifiques de diffraction cohérente des rayons X et leur application aux études de transformations de phases et de plasticité (Livet et Sutton). Ensuite, les différents phénomènes intervenant dans la genèse des microstructures sont couverts : la solidification (Nguyen Thi et al.), la précipitation (De Geuser et Deschamps), les transformations diffusives (Geandier et al.), la croissance de grains ou de phases (Offerman et Sharma), les transformations martensitiques (Malard et al.), la mesure des défauts cristallins (Borbely et Ungar). Finalement, la troisième partie traitera des techniques en relation avec le comportement méso- ou macroscopique des matériaux : évaluation des contraintes internes (Rolph et al.), étude de la fatigue (Proudhon et al.), étude de la rupture (Maire et al.).

Alexis Deschamps  
*SIMAP, Grenoble INP, 1130, rue de la Piscine, BP 75, 38402 Saint Martin d'Hères cedex, France*  
*E-mail address: [alexis.deschamps@grenoble-inp.fr](mailto:alexis.deschamps@grenoble-inp.fr)*

Available online 28 January 2012