

Résumés (*)

Signatures infrarouges de la photochimie X des grains de poussière réfractaires de types circum et interstellaires.

Entre 1 et 10 keV, l'absorptivité X de la poussière interstellaire domine d'un facteur 100 celle du gaz non condensé. L'absorption des rayons X est particulièrement efficace au sein des environnements astrophysiques confinés poussiéreux abritant des sources X *centrales* (AGN, pépinières d'étoiles jeunes, etc). Les doses X caractéristiques de la poussière de ces régions sont estimées entre 10 à 10^8 GJ/kg. Le présent travail expérimental évalue les effets photochimiques des rayons X (> 6 keV) sur un large éventail de matériaux d'intérêt astrophysique : Solides moléculaires de ferrocène (organométallique), de 4 PAHs, charbons avec et sans composante minérale, graphite, SiC, SiO₂, olivine cristalline. Les effets sont évalués ex-situ par spectrométrie FTIR par transmission, entre 2.5 et 125 μm , après irradiation X sous argon (1-10 GJ/kg). L'évolution de la cristallinité, la formation de radicaux chimiquement actifs sensibles à la post-oxydation, la déshydrogénation, l'aliphatisation, la destruction rapide des molécules, ou le possible rôle catalyseur des inclusions minérales au sein des échantillons sont les effets les plus discutés. Les implications astrophysiques les plus immédiates de ces résultats sont évoquées. Deux irradiations menées sous H₂ invitent enfin à relativiser certains résultats précédents, et initialisent une nouvelle classe d'expériences prometteuses.

Le chapitre 1 rappelle les principales caractéristiques des rayonnements X astrophysiques, de leurs sources, et de la poussière qui les entoure. Le chapitre 2 explicite les mécanismes d'interaction rayons X – matière, dominés par l'absorption photo-électrique et les électrons Auger résultants. Le chapitre 3 présente brièvement les principales caractéristiques physiques des échantillons considérés, et les conditions de leur manipulation. Le chapitre 4 donne un aperçu des expériences d'irradiation X : Montage réalisé, protocole d'irradiation, doses et spectres X administrés. Le chapitre 5 explicite les termes, biais et incertitudes de la spectrométrie infrarouge effectuée. Le chapitre 6 expose, analyse et commente l'ensemble des résultats spectraux obtenus. Enfin, le chapitre 7 dresse une synthèse des résultats et rappelle les principaux développements possibles de ce travail. Une série de 8 annexes conclut cette partie du mémoire. L'annexe E invite notamment à comparer les résultats X avec ceux d'autres types d'irradiations issus de la littérature publiée.

Métrologie d'un miroir à rayons X du satellite astronomique XMM. Erreurs de pente, rugosité. Diffusion X. Simulation et évaluation des images résultantes.

L'Agence Spatiale Européenne (ESA) lancera en 1999 l'observatoire astronomique XMM. Ce satellite, conçu principalement pour la spectroscopie "fine" du ciel en rayons X, est équipé de 3 télescopes à rayons X totalisant une surface collectrice encore inégalée. La réalisation et l'intégration de l'optique et des spectromètres à réseaux-échelles constituent le principal défi technologique du satellite. Pour contre-expertise, l'ESA confia à l'ESRF la caractérisation optique d'un des miroirs de XMM, choisi au hasard à l'insu des fabricants. Ce travail contractuel fit l'objet de cette partie de la thèse. Les erreurs de pentes du miroir furent initialement mesurées à mieux que 0.5" près, à l'aide d'un faisceau X monochromatique finement collimaté. La grande dynamique angulaire ($> 2.1^\circ$) du diffractomètre utilisé permit également de déterminer l'angle d'intersection séparant les deux sections de la combinaison Wolter 1 du miroir. Ces mesures mirent en évidence de graves déformations hors spécification. Leur analyse mena l'ESA à corriger le processus de fabrication des miroirs de problèmes de relaxation de contraintes mécaniques après polissage. Après retour au fabricant, le miroir fut remesuré à l'aide du Profilomètre optique à Longue portée (LTP) de l'ESRF, avec une précision et un échantillonnage spatial légèrement meilleurs qu'aux rayons X, mais à dynamique angulaire insuffisante pour l'angle d'intersection. Les déformations avaient disparues. Des tests mécaniques n'ont pas permis d'en recréer volontairement. Par ailleurs, la nano-rugosité de surface du miroir fut attentivement évaluée par analyse de mesures angulaires de diffusion X. Ce travail rencontra de graves difficultés méthodologiques dont l'analyse critique aboutit à une amélioration générale du montage et du protocole expérimental communément utilisés. L'ensemble des données obtenues intrinsèques au miroir permit finalement de modéliser la fonction d'étalement de point (FEP) du miroir (et d'autres) pour différentes énergies et angles d'incidence. Une évaluation multi-critérielle de la FEP (FWHM, HEW, HEW.2-d) mit en évidence l'importance non négligeable et difficilement remédiable de la diffusion X loin de la réflexion spéculaire.

Les bases théoriques, méthodologiques, expérimentales, et les résultats de ce travail firent l'objet d'un rapport extensif de 350 pages adressé à l'ESA. Ce rapport est disponible auprès de l'INIST (Vandœuvre-lès-Nancy). La seconde partie de ce mémoire reprend les principaux résultats exposés dans le rapport : Le chapitre 1 mentionne les termes du contrat ESA-ESRF. Le chapitre 2 présente l'observatoire spatial XMM et la réalisation de ses miroirs X. Le chapitre 3 est un résumé du rapport. Il fait extensivement référence à celui-ci ainsi qu'à l'article SPIE synthétique et illustré publié au terme final du travail. Cet article est reproduit en annexe A. La table des matières du rapport détaillé est donnée en annexe B.

(*) English version on back side. Mémoire complet (2 parties) disponible sur <http://sgougeon.free.fr/>

Abstracts (*)

Infrared signatures of the X-ray processing of circum and interstellar-like refractory dust grains.

The X-ray absorptivity of interstellar dust is greater than the non condensed gas' one by a factor 100, from 1 to 10 keV. The X-ray absorption is particularly efficient within confined dusty astrophysical environments accommodating central X-ray sources, such as AGN, clumps of star forming regions, etc. The characteristic X-ray doses accumulated by dust in these areas scale typically from 10 to 10^8 GJ/kg. The experimental work considered here assesses the photo-processing effects of hard X-rays (> 6 keV) on a panel of various relevant astrophysical materials : Molecular solid of ferrocene (organometallic), of 4 PAHs, coals with and without their mineral components, graphite, SiC, SiO₂, and crystalline olivine. Effects are evaluated through ex-situ FTIR transmission spectroscopy on the 2.5–125 μ m range, after X-ray irradiation under argon (1-10 GJ/kg). The evolution of crystallinity, the internal formation of active radicals sensitive to post-oxydation, the deshydrogenation, aliphaticization, fast destruction of molecules, or the possible photocatalytic role of mineral contents of carbonaceous samples are mainly discussed. Straight forward astrophysical implications of these results are mentioned. Finally, the results of two irradiations under H₂ invite us to put into perspective some of the previous results, and are likely initiating a whole class of new promising experiments.

The chapter 1 reminds the main characteristics of X-ray astrophysical radiations, of their sources, and of the circum and interstellar dust. The second chapter explicits the various X-ray/matter interaction modes, dominated by the photoelectric absorption and the resulting Auger electrons. Chapter 3 briefly presents the main physical parameters of the choosen samples, and their handling and storage. The fourth chapter gives a glance on the X-ray irradiation experiments : Set-up carried out, protocole of irradiation, X-ray doses and spectrum delivered to samples. Chapter 5 specifies the terms, biases and uncertainties of the infrared spectrometric measurements. Chapter 6 shows, analyses and comments the whole set of results obtained for each sample. Finally, chapter 7 picks out the main results and explicits some of the most interesting possible developments of this work. A series of 8 appendices conclude this part of the dissertation. Noticeably, appendix E invites to compare our results to other ones published for the same kinds of materials but irradiated at other wavelengths or with particles.

Metrology of an X-ray mirror of the XMM astronomical satellite. Slope errors, roughness. X-ray diffuse scattering. Modeling and characterisation of resulting images.

The European Space Agency (ESA) is going to launch in 1999 the XMM astronomical observatory. This satellite, mainly designed for doing "fine" X-ray spectroscopy of the sky, will bear 3 X-ray telescopes of an unrivalled cumulated collecting surface area. The construction and integration of these optics and spectrometers with échelle-gratings is the main technological challenge of the XMM mission. Wishing a second opinion, the ESA asked to the ESRF to optically characterize one of the XMM X-ray mirrors, randomly choosing it without informing the manufacturers. This contractual work made the first part of this thesis. Slope errors of the mirror were initially measured within better than 0.5" using a monochromatic highly collimated X-ray pencil beam. The wide angular range ($> 2.1^\circ$) covered by the diffractometer used for that allowed the accurate determination of the intersection angle separating both sections of the Wolter 1 optical configuration of the mirror. The slope errors showed some big deformations out of specifications. Their analysis led the ESA to correct the manufacturing process of the mirrors, by solving problems of parasitic relief of mechanical constraints after polishing. After a journey to the manufacturers, the mirror was measured once again, now using the ESRF optical Long Trace Profiler (LTP). The accuracy and sampling were then still slightly better, but the available angular range of the LTP was insufficient for measuring the intersection angle. Big deformations were no longer visible. Some mechanical tests applied to the mirror didn't succeed in simulating the initially measured deformations. On the other hand, the nano-roughness of the mirror was carefully assessed through Angular Resolved Scattering (ARS) measurements of diffuse X-rays "reflected" onto the surface. This work encountered some heavy methodological problems. The critical analysis of these ones led to a general improvement of the experimental ARS set-up and protocole commonly used up to then. Then, the whole set of collected data intrinsic to the mirror were utilized for modeling the Point Spread Function (PSF) of the mirror (and of other ones) at different X-ray energies and incident angles, while these two parameters were fixed for all ARS measurements. A multi-criterial characterization of the PSF (FWHM, HEW, HEW.2-d) showed that the X-ray diffusion far from the specular reflection cannot be always neglected, despite it can no more be easily removed.

The theoretical, methodological, experimental bases, and the results of this work were extensively reported to the ESA in a 350 pages document. Copy of any part of this report can be retrieved at the INIST (**). The second part of this dissertation reminds the main results of the report : Chapter 1 specifies the terms of the ESA-ESRF contract. Chapter 2 presents the spatial observatory XMM, and briefly describes the manufacturing process of its X-ray mirrors. Chapter 3 is an abstract of the report. It extensively refers to it, as well as to the synthetic and well illustrated SPIE paper published at the end of the work. A copy of this paper is given in appendix A. The table of contents of the ESA's report is given in appendix B.

(*) Full release (2 parts, in french) downloadable from <http://sgougeon.free.fr/>

(**) See <http://www.inist.fr>. INIST-CNRS, 2 allée du parc de Brabois, 54514 Vandoeuvre-lès-Nancy, France :

S. Gougeon : "XMM ESA' project : Mandrel #19 assessment at the ESRF" (14 Dec. 1995)].